

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh úpravy posilovače řazení manuální převodovky nákladního automobilu

Proporsal for Modifying of the Power Shift
of the Truck Manual Gearbox

Student:

Bc. Machálek Filip

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Filip Machálek

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace:

72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Návrh úpravy posilovače řazení manuální převodovky nákladního
automobilu
Proposal for Modifying of the Power Shift of the Truck Manual Gearbox

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele a zejména zkušeností získaných z provozu proveďte posouzení současného konstrukčního řešení posilovače řazení manuální převodovky nákladního automobilu, včetně návrhu vlastního řešení dané problematiky.

V rámci zadání zpracujte:

Literární rešerši k problematice mechanických, manuálně ovládaných převodovek těžkých nákladních automobilů a jejich konstrukčních provedení.

Rozbor a vyhodnocení zkušeností a problémů z provozu nákladních automobilů vybavených převodovkami zadavatele.

Návrh nového konstrukčního řešení posilovače řazení manuální převodovky s ohledem na možnosti zástavby ve skříni převodovky.

Ověření navrženého řešení formou zpracování počítačového modelu, případně v podmínkách praktických zkoušek, včetně zpracování doporučení pro nasazení posilovače řazení manuální převodovky do reálného provozu.

Další pokyny a doporučení poskytne konzultant diplomové práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

VALA, M. et al. *Teorie a konstrukce bojových a speciálních vozidel: učebnice. Díl I., Konstrukce vozidel*. Vydání: první. Brno: Univerzita obrany, 2017. 308 stran. ISBN 978-80-7231-391-4.

BRAUN, P. a Š. ČORŇÁK. *Provoz a údržba ANTS Tatra T-810 6x6*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2011. 104 s. ISBN 978-80-7231-782-0.

BRAUN, P. et al. *Bojová a speciální vozidla - I: základy konstrukce kolových vozidel*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2007. 153 s. ISBN 978-80-7231-271-9.

STODOLA, J. *Provoz, údržba a opravy vozidel I*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. 78 s. ISBN 978-80-7395-103-0.

HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost. IV., Provoz a údržba strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- Bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Filip Machálek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hornická 22, Hlučín, 748 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MACHÁLEK FILIP. *Návrh úpravy posilovače řazení manuální převodovky nákladního automobilu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 70 s. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem pneumatického posilovače řazení pro manuální převodovku Tatra 14TS210. Diplomová práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první části seznamuje s různými typy systémů řazení, které jsou využívány u nákladních automobilů Tatra a také u konkurenčních značek nákladních automobilů. Následující část se zabývá zpětnou reakcí na tyto posilovače od zákazníků. Závěrečná část se zabývá samotným konstrukčním řešením a to všech částí, jejich pevnostní kontrolou a také kontrolou funkčnosti zařízení. V přílohách jsou také výrobní výkresy vybraných částí.

Klíčová slova:

Tatra, posilovač řazení, manuální převodovka 14TS210, konstrukční návrh

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MACHÁLEK FILIP. *Proporsal for Modifying of the Power Shift of the Truck Manual Gearbox*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 70 s. Thesis head: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

The thesis deals with the design of the pneumatic gearshift for manual gearbox Tatra 14TS210. The thesis is divided into three main parts. In the first part, she is familiar with the different types of systems that are used by Tatra trucks as well as with competing brands of trucks. The following section deals with feedback from customers on these boosters. The final part deals with the design itself and all the parts, their strength control as well as the control of the functionality of the equipment. In the annexes there are also production drawings of selected parts.

Keywords:

Tatra, power shift, manual gearbox 14TS210, concept design

Obsah

1.	O automobilce TATRA	12
2.	Souhrn převodovek a posilovačů řazení vozidel TATRA	14
2.1	Nákladní vozidla TATRA	14
2.1.1	TATRA FORCE	15
2.1.2	TATRA TERRA	17
2.1.3	TATRA PHOENIX E5 a E6	19
2.1.4	TATRA TACTIC	20
2.2	Používané převodovky u nákladních vozidel TATRA	21
2.2.1	TATRA 10TS/14TS	21
2.2.2	TATRA-NORGREN	22
2.2.3	ZF	23
2.2.4	Allison	25
2.2.5	Sestupné převody TATRA	25
2.3	Používané posilovače řazení u nákladních vozidel TATRA	26
2.3.1	Pneumatický posilovač řazení	27
2.3.2	Hydraulický posilovač řazení	27
2.3.3	Elektro-mechanický posilovač řazení	27
2.4	Posilovače řazení převodovky TATRA 14TS210	28
2.4.1	Mechanicko-pneumatický posilovač TATRA	28
2.4.2	Pneumatický posilovač TATRA-NORGREN	30
2.4.3	Posilovče řazení převodovky ZF Eco	32
2.5	Jiné posilovače řazení	33
2.5.1	Posilovač Scania	33
2.5.2	Posilovač Agrotron	34
2.5.3	Elektromagnetické a hydraulické posilovače	34
3.	Problematika posilovačů řazení TATRA	35
3.1	Mechanicko-pneumatický posilovač TATRA	35

3.2	Pneumatický posilovač TATRA-NORGREN.....	35
3.3	Požadavky kladené na posilovač řazení	35
4.	Konstrukční návrh posilovače řazení.....	36
4.1	Návrh posilovače řazení	36
4.1.1	Pneumatický posilovač (píst).....	37
4.1.2	Řídicí mechanismus posilovače.....	40
4.1.3	Hřídel posilovače	41
4.1.4	Řadicí palec.....	43
4.1.5	Pomocný řadicí palec	45
4.1.6	Pomocný vstupní palec	47
4.1.7	Tělo posilovače	49
4.1.8	Víko posilovače	53
4.1.9	Příruba posilovače.....	53
4.1.10	Mechanismus proti špatnému zařazení	54
4.1.11	Vstupní hřídel volby	56
4.1.12	Volba ložisek a kluzných elementů	58
4.1.13	Vstupní páky řazení	59
4.1.14	Magnetický šroub	59
4.2	Kontrola kolizí posilovače řazení s převodovkou/rámem vozidla.....	60
4.3	Kalkulace ceny posilovače řazení	63
4.4	Tisk posilovače pomocí FDM technologie	64
5.	Závěr	65
6.	Seznam literatury	68
7.	Seznam příloh	70

Seznam použitých zkratek a symbolů

μ_{oc1} – Poissonova konstanta [-]

a_p – rameno palce [m]

a_{pp} – rameno pomocného palce [m]

C – základní dynamická únosnost [kN]

C_0 – základní statická únosnost [kN]

E_{oc1} – Youngův modul [Pa]

F_p – síla působící na řadící palec [N]

F_{pp} – síla působící na pomocný palec [N]

F_{pV} – síla pracovního válce [N]

F_{SC} – síla pracovního válce Scania [N]

F_{ZF} – síla pracovního válce ZF [N]

k – koeficient bezpečnosti [-]

K – součinitel měrného dynamického zatížení [N.mm⁻²]

K_0 – součinitel měrného statického zatížení [N.mm⁻²]

p – tlak systému [Pa]

p_{DS} – dovolený tlak materiálu [Pa]

P_n – mezní únavové zatížení [kN]

p_{SC} – pracovní tlak Scania [Pa]

P_u – mezní únavové zatížení [kN]

p_{ZF} – pracovní tlak ZF [Pa]

Q – průtok vzduchu [m³.s⁻¹]

r – poloměr pístnice [m]

R – poloměr válce [m]

R_e – mez kluzu [MPa]

Re – Reynoldsovo číslo [-]

R_m – mez pevnosti [Mpa]

S_V – pracovní plocha válce [m^2]

S_{ZF} – pracovní plocha válce ZF [m^2]

v – rychlost proudění vzduchu [$m.s^{-1}$]

V_v – objem pracovního válce [m^3]

W – průřezová charakteristika [m^3]

W_0 – modul průřezu v ohybu [-]

η – dynamická viskozita vzduchu [Pa.s]

ν – kinematická viskozita vzduchu [$m^2.s^{-1}$]

ρ – hustota vzduchu [$kg.m^{-3}$]

σ_0 – napětí materiálu při ohybu [Pa]

τ_{DS} – dovolené napětí materiálu [Pa]

τ_S – napětí materiálu [Pa]

Úvod

Tato práce se zabývá novým návrhem konstrukčního řešení pneumatického posilovače řazení pro manuální převodovku Tatra 14TS210. Práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol. V první kapitole stručně shrnuje historii automobilky TATRA. V druhé kapitole seznamuje čtenáře s různými typy systémů řazení, které jsou využívány u nákladních automobilů Tatra a také u konkurenčních značek nákladních automobilů. Následující kapitola se zabývá zpětnou reakcí na tyto posilovače od uživatelů vozidel. Závěrečná kapitola se zabývá samotným návrhem konstrukčního řešení všech částí, jejich pevnostní kontrolou a také kontrolou funkčnosti tohoto zařízení.

Posilovač řazení a celý volicí systém má velké nároky na funkčnost a spolehlivost, neboť je jedním z důležitých prvků pohonného ústrojí. Selhání takového systému může vést k ohrožení života nejen obsluhy vozidla, ale i osob v blízkosti automobilu. Samozřejmostí je také pohled na výrobní náročnost, která jde ruku v ruce s celkovou cenou posilovače a to je důležitým faktorem pro zavedení takového zařízení do sériové výroby.

Výhodou tohoto nového posilovače oproti jeho předchůdci je snazší aretace volicího pohybu a tím zvýšení komfortu obsluhy stroje v podobě zvýšení přesnosti volicího pohybu. Toto zvýší celkovou spolehlivost a bezpečnost vozidla při provozu, jelikož je snížena pravděpodobnost zařazení špatného převodového stupně.

Posilovač je navržen pro konstrukční oddělení TATRA TRUCKS a.s. s vizí montovat tento posilovač na modely TERRA a FORCE osazené převodovkami 14TS210 v roce 2020.

1. O automobilce TATRA

Kopřivnická automobilka TATRA byla založena v roce 1850, díky tomu je jedna z nejstarších automobilek na světě - druhá nejstarší doposud existující. Prvotními produkty byly povozy a drožky. Výroba probíhala v malé rodinné firmě Ignáce Šustaly v původním Nesselsdorfu (Kopřivnice). Za dobu účinkování prošla firma mnohými změnami od sjednocení více firem, změny názvů a loga, znárodnění, výrobou osobních i nákladních železničních vagónů, trolejbusů, atd.

První osobní automobil Präsident, který vyjel z továrny v roce 1897, byl ještě pod značkou NW (Nesselsdorfer Wagenbau-Fabriks-Gesellschaft). První nákladní automobil vyjel z továrny o rok později. Toto vozidlo trambusového typu položilo základy tradice nákladních automobilů Tatra. Vynikal nosností 2,5 t a byl poháněn dvojicí motorů Benz.

Nejvýznamnější změnou, kterou představil geniální konstruktér Hans Ledwinka, byla změna celé koncepce podvozku automobilu. V roce 1923 továrnu opustil první osobní automobil T11. Byl postaven na revoluční koncepci podvozku s centrální nosnou rourou s nezávisle výkyvnými polonápravami. Tato koncepce je dodnes známa jako „tatrovácká“, stále se využívá a je neustále inovována, např. odpružením pomocí vzduchových měchů.



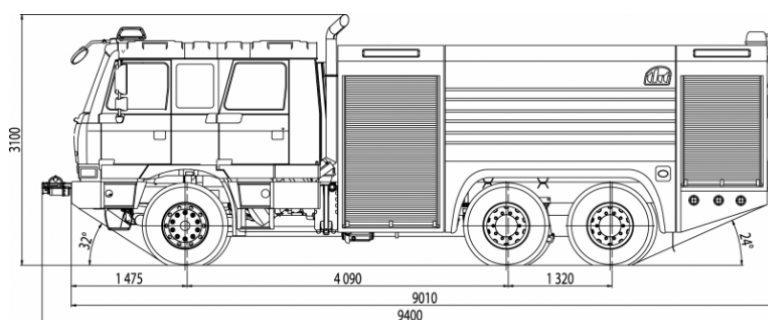
Obr. 1 Automobil T11 [12]

K rozvoji výroby nákladních automobilů přispěly především objednávky vozidel určené pro armádní účely. Předurčení pro práci v extrémních terénních i klimatických podmínkách jim zajistila obrovská průchodnost terénem, robustní konstrukce, snadná údržba, vysoký výkon stroje a dlouhá životnost. TATRA se prostě přizpůsobí jak arktickým mrazům, tak tropickým teplotám a to téměř v jakémkoli terénu.



Obr. 2 TATRA T111 z roku 1942 [13]

V 80. až 90. letech produkovala Tatra až 15 000 nákladních vozidel ročně. V následujících letech prodejnost a poptávka klesla, což znamenalo, že z továrny vyjelo pouze 1 300 nákladních vozidel. Nicméně nejhorším obdobím byl rok 2012, kdy byla výroba málem zastavena. Následně po odkoupení českými majiteli začala Tatra postupně produkovat více vozidel. Mezi nejoblíbenější modely patří jistě T815-2, který nabízel spoustu možností pro téměř jakékoliv obory a byl předlohou pro nový obchodní model TERRNo1. Od roku 2012 poptávky po vozidlech Tatra stoupají a pro rok 2018 je naplánováno vyrobit zhruba 1600 vozidel, z toho je více než 700 zakázkových.



Obr. 3 TATRA T815-2 v hasičském provedení [14]

Továrna dostala jméno Tatra, jak ji známe dnes až v roce 1921. Od roku 2013 je továrna opět v českých rukou a nese obměněný název TATRA TRUCKS a.s. Dneškem firma čítá okolo 1300 zaměstnanců a je výrobcem terénních, plně pohonných nákladních vozidel a to s jakýmikoliv individuálními úpravami.

2. Souhrn převodovek a posilovačů řazení vozidel TATRA

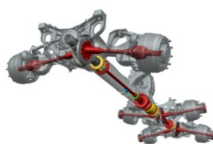
V této kapitole jsou shrnuty nákladní automobily vyráběné automobilkou Tatra, jejich aplikované převodové ústrojí a posilovače řazení používané právě na těchto typech převodovek. Dále jsou zde popsány výhody a nevýhody těchto soustav, jejich funkčnost a další poznatky související s tímto tématem.

2.1 Nákladní vozidla TATRA

„Tatrovácká“ koncepce je vynálezem Hanse Ledwinky, který byl technickým ředitelem společnosti Tatra a to v letech 1905 až 1945. Vynálezce poskládal jednotlivé, tehdy již známé, konstrukční řešení a vyvinul nový druh automobilového rámu, označovaného jako páteřový, který byl konstruován jako nosná roura chránící hnací hřídel uloženou uvnitř rámu. Na tuto hřídel jsou připojeny rozvodové nápravové skříně s nezávisle zavěšenými polonápravami tak, aby celková konstrukce zajišťovala funkci samonosného podvozku. V dnešní době se u osobních automobilů používá spíše lichoběžníkových systému zavěšení ramen. Tatrovácká koncepce je vhodná do extrémních podmínek, kde je kladen důraz na kontakt pneumatik s povrchem, a to i v těžkém terénu.

Mezi největší výhody „tatrovácké“ koncepce jistě patří výborná průchodnost terénem, vysoká torzní tuhost podvozku, minimální údržba, minimalizování možnosti poškození podvozku, stabilita při jízdě ve svazích i v zatáčkách a v neposlední řadě vysoká přepravní rychlost v náročném terénu.

U klasické „tatrovácké“ koncepce jsou poháněny vždy zadní nápravy nastálo, přední nápravy jsou připojitelné v případě potřeby. Všechny nápravy jsou opatřeny také uzávěrkou diferenciálu. Součástí nápravy je dvojce hnaných talířovitých ozubených kol a dvojce pastorků, které přenášejí krouticí moment vedoucí od diferenciálu. Diferenciál je umístěn mimo nápravu a není klasického kuželového typu, ale tzv. korunového. Skříň nápravy je uzpůsobena pro výkyvný pohyb polonáprav, které jsou osazeny vzduchovými bubnovými brzdami vybavenými snímači ABS, nebo mohou být na přání zákazníka osazeny brzdami kotoučovými. [1]



Obr. 4 Unikátní podvozek TATRA [8]

2.1.1 TATRA FORCE

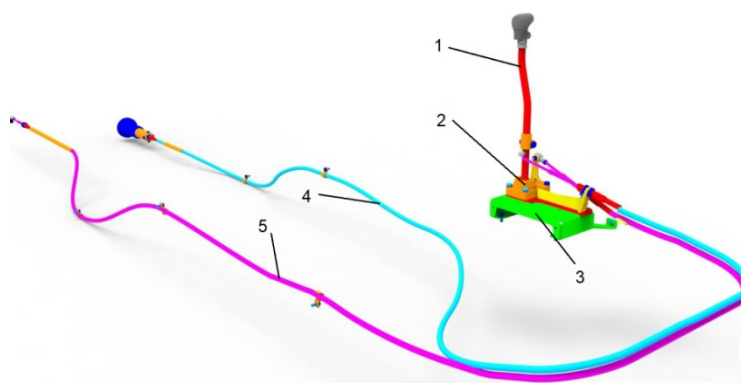
Nákladní automobily typu FORCE jsou využívány hlavně pro speciální úpravy. Dřívější označení modelu je 815-7 a tento typ se vyrábí od roku 2008 až dodnes. Nejvíce automobilů je využíváno ve zbrojním průmyslu, HZS, či ropném průmyslu. Rozdíly ve vozidlech nejsou jen v druhu použité nástavby, ale také v různém počtu náprav, kabiny, zvýšení brodivosti, možnosti pancéřování a další.

Tab. 1 Motory a převodovky používané u modelu FORCE

Model	Motor	Převodovka
FORCE (T815-7)	TATRA T3-928	TATRA 14TS - manuální, 14rychlostní
		TATRA-NORGREN - automatizovaná, 14rychlostní
		Allison 4500 - automatická, 6rychlostní
	Cummins ISL/ISM	TATRA 14TS - manuální, 14rychlostní,
		TATRA-NORGREN - automatizovaná, 14rychlostní,
		Allison 4500 - automatická, 6rychlostní

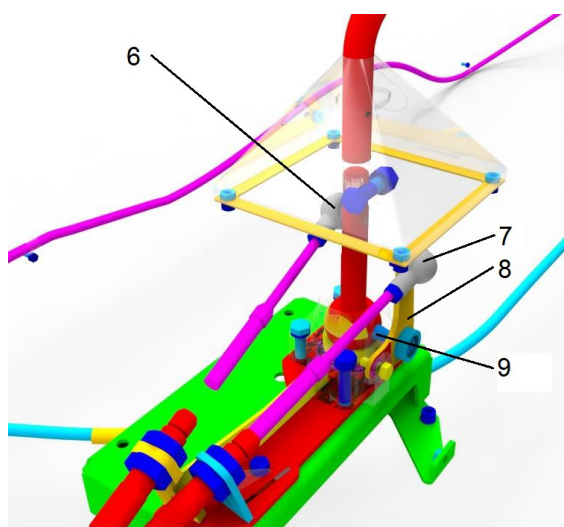


Obr. 5 TATRA FORCE - Recovery (vyprošťovací speciál) [8]



Obr. 6 Řadící mechanismus - TATRA FORCE [22]

Na obrázcích je zobrazen řadící mechanismus vozidla Tatra FORCE. Řidič vozidla ovládá řadící páku (č. 1), která je uložena do kloubového mechanismu (č. 2). Ovládání probíhá za pomoci bowdenových kabelů, které jsou uchyceny k tomuto mechanismu. V případě volícího pohybu, tedy pohybem páky vlevo/vpravo, dochází k přenosu síly skrze kloubový mechanismus a volící páku (č. 8), která je kulovým čepem (č. 7) uchycena na konec bowdenu volby (č. 5). Řadící pohyb, tedy pohyb páky vpřed/vzad, je přenášén do bowdenu řazení (č. 4) za pomoci kulového čepu (č. 6) umístěného na tyči řadící páky. Konzole řazení (č. 3) zaručuje pevné uchycení bowdenů a celé soustavy řazení v kabině vozidla.



Obr. 7 Detail klusy řazení - TATRA FORCE [22]

Od roku 2016, kdy mechanismus prošel modernizací, je řazení převodové rychlosti zajištěno kombinací bowdenu a pevných táhel, neboť řadící tyč by díky různým zástavám nemohla vykonávat oba potřebné pohyby. Volba tedy zůstala ovládaná bowdenemovým kabelem připevněným na páku posilovače, samotné řazení je ovládáno táhlem.

2.1.2 TATRA TERRA

Automobil je vyráběn v mnoha variantách. Liší se dle počtu náprav a typu nástavby. Své využití uplatní v mnoha průmyslových odvětvích, ať už je to zemědělství, těžarství, hasičské speciály, vojenské speciály a další.

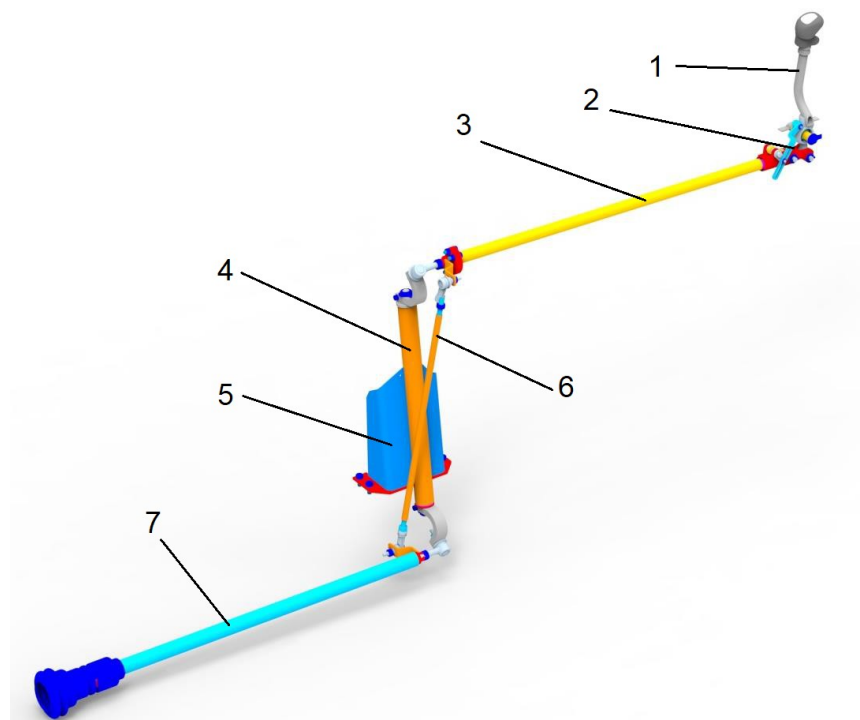
Tatra TERRA, původně pod označením T815, je model vyráběný již od roku 1983. Při změně majitelů firmy došlo také ke změně továrního označení na Tatra TERRA.

Tab. 2 Motory a převodovky používané u modelu TERRA

Model	Motor	Převodovka
TERRA (T815-2)	TATRA T3-928	TATRA 14TS - manuální, 14rychlostní
		TATRA-NORGREN - automatizovaná, 14rychlostní
		Allison 4500 - automatická, 6rychlostní
	Cummins ISL/ISM	TATRA 14TS - manuální, 14rychlostní
		TATRA-NORGREN - automatizovaná, 14rychlostní
		Allison 4500 - automatická, 6rychlostní



Obr. 8 TATRA TERRA 8x8 (TATRA) [8]



Obr. 9 Ředící mechanismus - TATRA TERRA [22]

Na obrázku je zobrazen řadící mechanismus vozidla Tatra TERRA. Řidič vozidla ovládá řadící páku (č. 1). V případě volby řadící pákou, tedy pohyb pákou vlevo/vpravo, přenáší tyč (č. 3) pohyb pomocí rotace. V případě řazení, tedy pohybu pákou vpřed/vzad, se pohyb přenáší na posuvný pohyb tyče. Mechanismus (č. 4) je přidělán ke konzoli (č. 5) a vytváří tak nosný celek pro tento systém řazení. Tento mechanismus převádí pohyby tyče (č. 3), na obdobné pohyby tyče (č. 7), tedy řadící pohyb je posuvný a volící rotační s výjimkou opačné rotace, jež zajišťuje tyč (č. 6). Podstatný mechanismus (č. 2) dovoluje bezpečné odklopení kabiny bez nutnosti rozpojit a následně zapojit systém táhel řazení. Tento řadící mechanismus vyniká svými zástavbovými rozměry, nízkou výrobní cenou a přesným ovládáním. Nevýhodou jsou složité kinematické vazby použité na mechanismu.

2.1.3 TATRA PHOENIX E5 a E6

Model PHOENIX je momentálně „vlajkovou lodí“ společnosti Tatra. Automobil využívá „tatrovácké“ koncepce podvozku s centrální nosnou rourou a nezávisle zavěšenými, výkyvnými polonápravami. Kabina je zde dodávána společností DAF a lze si vybrat ze dvou provedení. Starší provedení s označením PHOENIX Euro 5, nebo novější verzi kabiny s označením PHOENIX Euro 6. Model se vyrábí od roku 2011 a lze jej objednat v mnoha konfiguracích. Minulý rok také proběhla výroba limitované edice 120 kusů Tatra PHOENIX Euro 6 PRÄSIDENT, k oslavě výročí 120 let od výroby prvního automobilu se spalovacím motorem. PHOENIX Euro 5 se také od roku 2017 účastní Rallye Dakar a to v týmu Buggyra.

Tab. 3 Motory a převodovky používané u modelu PHOENIX

Model	Motor	Převodovka
PHOENIX	PACCAR MX	ZF EcoSplit - manuální, 16rychlostní
		ZF AsTronic - automatizovaná, 16rychlostní
		Allison 4500/4700 - automatická, 6/7rychlostní



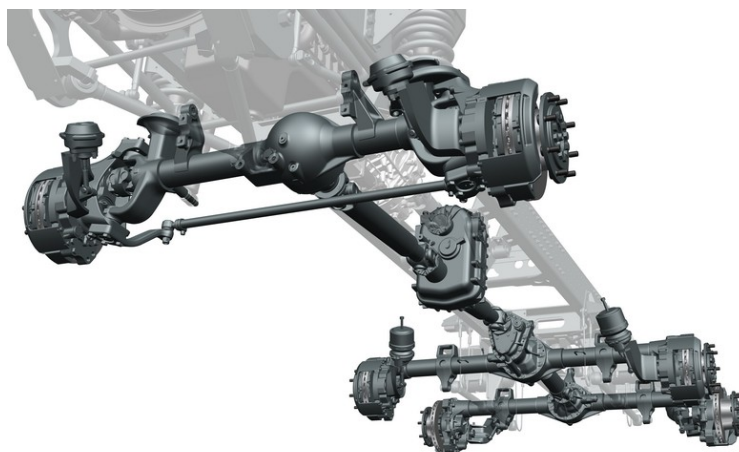
Obr. 10 TATRA PHOENIX euro 6 - Výroční edice PRÄSIDENT [8]

2.1.4 TATRA TACTIC

Tatra TACTIC, původně pod označením T810, je automobil vyvinutý především pro vojenské aplikace. Tento model je jediné vozidlo vyráběné Tatrou, které nemá klasický páteřový rám. Pod označením TATRA-RIGID se totiž skrývají portálové nápravy, které jsou buď to dvě, nebo tři a jsou vždy plně pohonné.

Tab. 4. Motory a převodovky používané u modelu TACTIC

Model	Motor	Převodovka
TACTIC (T810)	Renault DXi7	ZF EcoLite 6S - manuální, 6rychlostní



Obr. 11 Podvozek TATRA-RIGID (TATRA) [8]



Obr. 12 TATRA TACTIC [8]

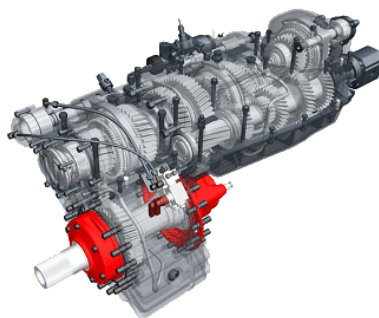
2.2 Používané převodovky u nákladních vozidel TATRA

TATRA nabízí převodovky manuální, automatizované, či plně automatické, avšak tato práce je zaměřená hlavně na převodovku 14TS210. Tento typ převodovky je dodáván pouze u modelů TERRNO a FORCE.

2.2.1 TATRA 10TS/14TS

Základní převodovka Tatra je manuálně ovládaná převodovka 10TS170, která je montována přímo na skříň přídatného převodu vozidla. Tímto se stává integrovanou součástí podvozku. Převodovka 10TS a 14TS se od sebe liší počtem převodových stupňů (desetistupňová 10TS a čtrnáctistupňová 14TS) a to v kombinaci s dvoustupňovým, nebo jednostupňovým přídatným převodem a také se samozřejmě liší rozsahem a odstupňováním jednotlivých převodových stupňů.

Převodovka sama o sobě poskytuje pouze pět převodových stupňů dopředu a jeden dozadu. Jejich rozdělení zaručuje dvoustupňová redukce, která je řazena elektro-pneumaticky spínačem, jež je umístěný na řadicí páce řidiče. S touto redukcí již dosahuje převodovka deseti stupňů vpřed a dva vzad. Převodové stupně jsou synchronizovány, avšak výjimkou je zpětný chod a speciální pomalá jízda označena jako C (Crawler – plazit se), která se používá v situacích zapadlého vozidla, či rozjezdu s plně naloženým vozidlem. Další rozdělení rychlostních stupňů zajišťuje dvoustupňový přídatný převod s kuželovou synchronizací, který je spínán podle polohy řadicí páky příp. čidla elektropneumatického systému. Čtrnácti stupňů je tedy dosaženo rozdělením dvou nejrychlejších převodových stupňů (se vstupní redukcí čtyř) a to buď se zařazenou rozsahovou redukcí v přídatném převodu do pomalé jízdy, nebo při zařazení rozsahové redukce do rychlé jízdy. Toto nám umožní řadit čtrnáct převodových stupňů vpřed a dva stupně reverzního chodu. Výhodou této převodovky je maximální přenášený krouticí moment, který činí 2 100 Nm.



Obr. 13 Převodový agregát TATRA 14TS210L osazený mechanicko-pneumatickým posilovačem TATRA [15]

Přínos této konstrukce spočívá ve snížení měrné spotřeby paliva a zvýšení přepravní rychlosti. Čtrnáct převodových stupňů umožňuje větší rozsah převodového agregátu a tím dovolí optimalizovat otáčky motoru k požadované rychlosti vozidla, neboť využívá nižších otáček motoru disponujících vyšším krouticím momentem. Druhotnou výhodou je snížení rázového namáhání celého hnacího traktu vlivem řazení.

2.2.2 TATRA-NORGREN

Pro navýšení komfortu řidiče a zrychlení řazení převodových stupňů lze použít automatizovanou převodovku TATRA-NORGREN. Tento systém využívá elektro-pneumatický posilovač řazení, který řadí jednotlivé rychlostní stupně. Základem je převodovka TATRA 10TS, nebo 14TS.

Vlastní posilovač do jisté míry zvyšuje komfort řidiče, zvyšuje bezpečnost provozu a snižuje riziko poškození při nesprávném zařazení. Převodovka má dva základní režimy řazení, tj. manuální a automatický. Automatický režim je rozdělen do režimů AE, AM, AP, AS a MB.



Obr. 14 Převodový agregát TATRA 14TS210T-N osazený posilovačem TATRA-NORGREN [8]



Obr. 15 Volič řazení převodovky TATRA-NORGREN [16]

2.2.3 ZF

Převodovky dodávané firmou ZF jsou zastoupeny typem EcoSplit a AsTronic. Typ EcoSplit je určen pro model vozidla TATRA PHOENIX a to v šestnáctistupňovém provedení. Typ AsTronic je automatizovaná šestnácti stupňová převodovka, která je vhodná pro ulehčení ovládání a také do všech pracovišť, ve kterých dochází ke střídání řidičů. AsTronic pomáhá snižovat spotřebu vozidla, snižovat opotřebení spojky a uchránit motor a převodovky vlivem nesprávného zařazení. Převodovku lze rozšířit o retardér, který zvyšuje brzdný účinněk. Zvláštní kategorií je typ EcoLite s šesti rychlostními stupni, který je dodáván výhradně do lehké terénní řady TACTIC. Tento typ využívá přídatnou dvoustupňovou převodovku ZF Steyr VG750.



Obr. 16 Ovládací prvek automatické převodovky ZF [17]

2.2.3.1 EcoSplit

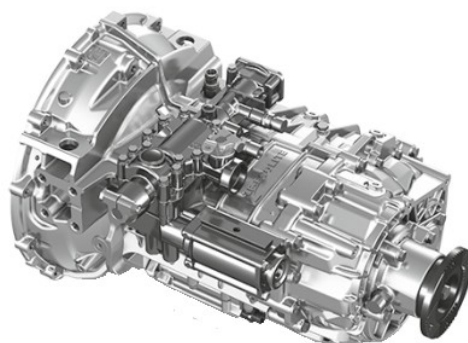
U těžkých nákladních automobilů (užitková hmotnost nad 10 t) lze použít převodovku EcoSplit. Převodovku lze vybrat ze dvou typů, dvanácti, nebo šestnáctistupňový. Přednostmi této převodovky jsou vyvážený chod, přenos vysokých momentů a lehké ovládání díky pneumatickému systému řazení.



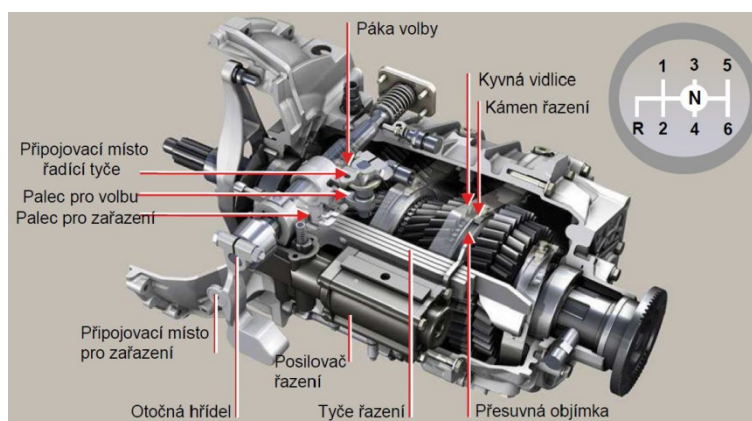
Obr. 17 Převodový agregát ZF EcoSplit [18]

2.2.3.2 EcoLite

U lehkých nákladních automobilů (užitková hmotnost do 3,5 t) lze použít převodovku EcoLite, která nabízí pět, případně šest převodových stupňů. Výhody této převodovky jsou nižší hlučnost, vyšší účinnost a snadné a přesné řazení díky pneumatickému systému řazení. Jedním z rozdílů oproti převodovce EcoMid je, že na posilovači jsou dvě přípojné místa na lanovody (pro volící a řadící pohyb) oproti jednomu přípojnému místu na tyč řazení.



Obr. 18 Převodový agregát ZF EcoLite [18]



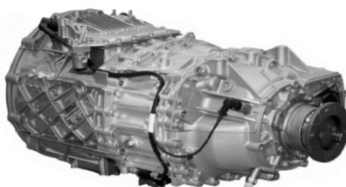
Obr. 19 Popis převodového agregátu ZF EcoLite [9]

2.2.3.3 EcoMid

U středně těžkých nákladních automobilů (užitková hmotnost 3,5-10 t) lze použít převodovku EcoMid. Převodové ústrojí disponuje devíti převodovými stupni, univerzálností, minimální hlučností, ekonomičností a také jednoduchým ovládáním díky mechanickému řazení s pneumatickým posilovačem řazení.

2.2.3.4 As Tronic

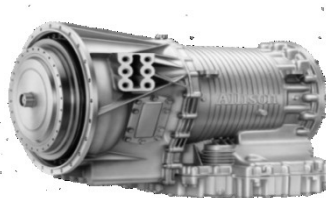
Jedná se o automatizovanou šestnácti stupňovou převodovku využívanou pouze u modelu Tatra PHOENIX. Předností této převodovky je velice klidný chod a velice rychlé řazení převodových stupňů. Firma ZF ji pro jiné automobilky vyrábí i ve variantách s šesti, deseti a dvanácti převodovými stupni.



Obr. 20 Převodový agregát ZF AS Tronic [18]

2.2.4 Allison

Montované převodovky Allison jsou šesti, případně sedmistupňové automatické převodovky, které jsou zabudované v jedné kompaktní skříní. Hydrodynamický měnič je montován přímo na motor. Tato převodovka zajišťuje neustálý přenos hnací síly na kola, což zaručí stálou trakci v terénu a tím plynulejší a jistější pohyb vozidla. Pochopitelně i samotné řízení vozidla je pak pohodlnější.



Obr. 21 Převodový agregát Allison 4700 [18]

2.2.5 Sestupné převody TATRA

Tatra na svá vozidla montuje sestupné převodovky, které se používají pro přenos točivého momentu z převodovky do části hnacího traktu umístěného v centrální nosné rouře. Sestupná převodovka je vyráběna ve třech variantách a to jednostupňová, dvoustupňová, nebo třístupňová, umožňující lepší optimalizaci provozních otáček motoru nejenom při jízdě po zpevněných komunikacích a silnicích, ale také při pohybu v náročném terénu. Tato převodovka má možnost řadit pouze v klidu. Sestupná převodovka se dále kombinuje s převodovkami ZF a Allison. Dle vybraného typu se v sestupné převodovce mění převodový poměr.

2.3 Používané posilovače řazení u nákladních vozidel TATRA

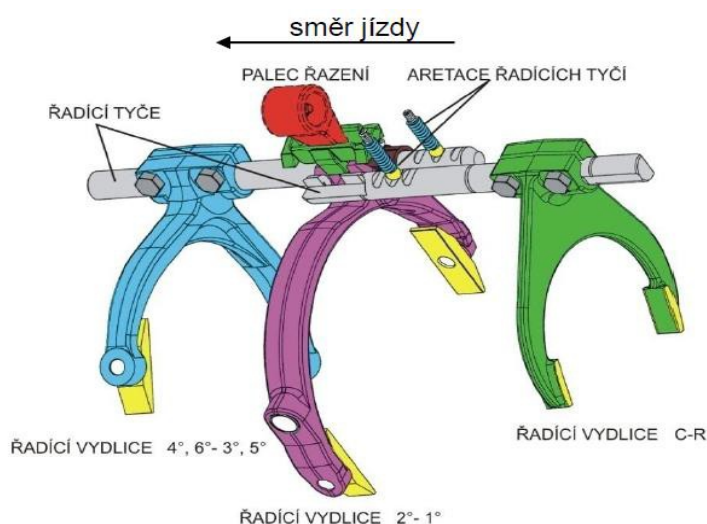
Posilovač řazení je zpravidla umístěn pevně na převodovou skříň. Takovýto mechanismus může být poháněn různými systémy. Mechanicky, pneumaticky, hydraulicky, za pomoci elektromotorů, či kombinace těchto systémů. Posilovač řazení ovšem není součástí převodovky.

U pneumatického, či hydraulického systému jsou uvnitř těla posilovače (zpravidla odlitku) ukryty písty, jimiž lze pohybovat řadícími elementy. U posilovače poháněným elektromotory jsou řadící elementy součástí hřídele, která vystupuje z tohoto systému.

Primární funkcí posilovače řazení je zvýšení komfortu řidiče, zvýšení bezpečnosti při provozu a snížit pravděpodobnost nesprávného zařazení převodovky. Typickým příkladem je právě převodovka TATRA 14TS210, u které je zapotřebí na řadící element vyvinout sílu 4580 N pro zařazení převodového stupně a 410 N pro volící pohyb palcem. S absencí posilovače by bylo zařazení opravdu obtížné, v horších podmínkách nemožné.

U starších nákladních vozidel, bez tohoto systému, bylo složité zařadit, neboť akumulace síly byla řešena dlouhou řadící pákou. Moment přepákování mezi řadící pákou a řadícím elementem pomáhal zařadit snáze, ale dlouhá řadící páka vyžadovala cit a zkušenost obsluhy pro přesné zařazení daného stupně.

První aplikace posilovače řazení u vozidel Tatra se objevila u modelu T138. Systém byl elektro-pneumatický a byl použit pro posílení řazení na přídatném převodu. V přítomnosti využívají nákladní automobily Tatra pneumatické, či mechanicko-pneumatické posilovače řazení. [2]



Obr. 22 Řadící vidlice převodovky 14TS210 včetně původního palce [5]

2.3.1 Pneumatický posilovač řazení

Pneumatický posilovač řazení pracuje se stlačeným vzduchem, který pomocí pneu-motoru vytváří požadovanou sílu.

Tab. 5 Výhody a nevýhody pneumatického posilovače

Výhody	Nevýhody
- jednodušší zapojení systému	- velké rozměry pístu
- ekologicky nezávadný při poruše systému	- nutný kompresor pro médium
- použité médium je „zadarmo“	- nižší celková účinnost
- médium lze využít z centrálního rozvodu	- energeticky dražší provoz
- není potřeba zpětného vedení vzduchu	
- rychlá odezva na řídicí signál	
- vysoké pohybové frekvence (vysoká rychlost proudění stlačeného vzduchu)	

2.3.2 Hydraulický posilovač řazení

Hydraulický posilovač řazení pracuje s kapalinou pod tlakem, která pomocí hydro-motoru vytváří požadovanou sílu.

Tab. 6 Výhody a nevýhody hydraulického posilovače

Výhody	Nevýhody
- malé rozměry pístu	- energeticky dražší provoz
- médium je nestlačitelné	- nižší celková účinnost
- vyšší účinnost hydro-motoru	- nutnost zpětného vedení kapaliny
- rychlejší reakce	- cena hydraulického oleje
	- ekologický závadný při úniku

2.3.3 Elektro-mechanický posilovač řazení

Elektro-mechanický posilovač řazení používá k pohybu elektrickou energii, kterou pomocí elektromotoru přemění na energii mechanickou.

Tab. 7 Výhody a nevýhody elektromechanických posilovačů

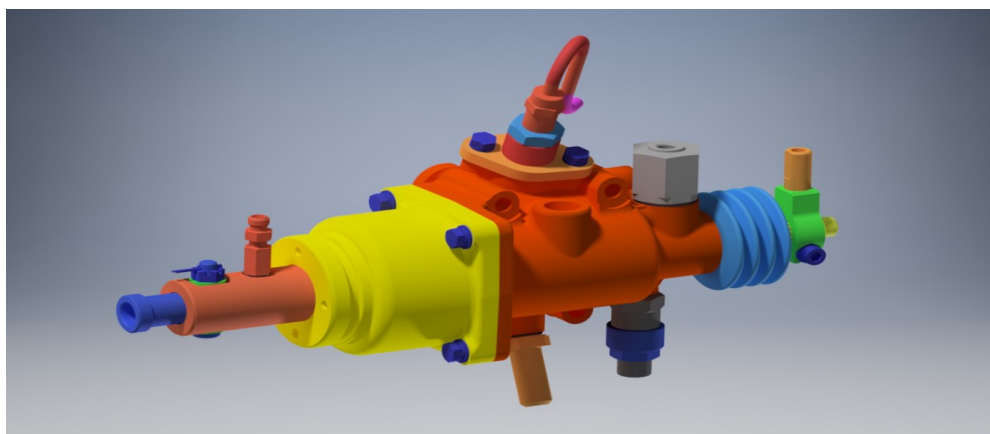
Výhody	Nevýhody
- jednodušší konstrukční řešení	- vysoká cena
- ekologicky nezávadný při poruše	
- rychlé reakce na řídicí signál	
- nezávislost na chodu motoru	

2.4 Posilovače řazení převodovky TATRA 14TS210

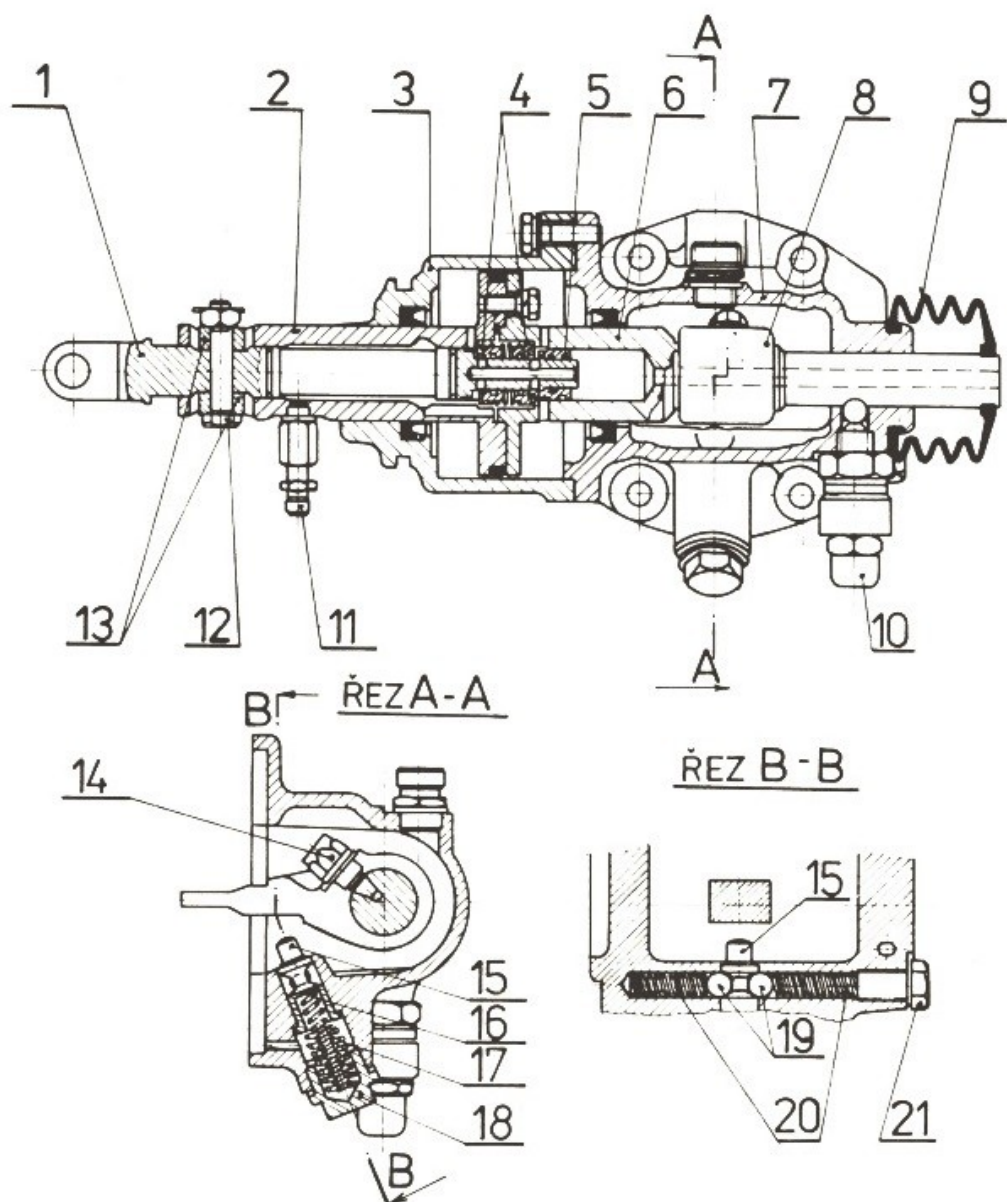
Převodové ústrojí Tatra 14TS210 může být osazena dvěma typy posilovače řazení. Prvním je mechanicko-pneumatický posilovač Tatra. Převodovka s tímto posilovačem řazení nese název 14TS210L. Druhým je elektro-pneumatický posilovač TATRA-NORGREN. V této konfiguraci je převodový agregát označován 14TS210T-N.

2.4.1 Mechanicko-pneumatický posilovač TATRA

Mechanicko-pneumatický posilovač Tatra je řazen do kategorie manuálních řadicích systémů. Volení a řazení převodového stupně je zde klasické, stejně tak, jak u jakéhokoliv osobního vozidla vybaveného manuální převodovkou. Zařazení převodové rychlosti začíná vymáčknutím spojkového pedálu, poté zařazení požadovaného převodového stupně na řadicí páce a poté postupné uvolňování spojkového pedálu. Řadicí páka tedy vykonává celkem čtyři pohyby z neutrální pozice: vpravo, vlevo, dopředu a dozadu. Tento pohyb se za pomoci bowdenů, případně táhel, přenáší do posilovače řazení, ve kterém je konečná síla přesunuta do řadicího palce převodovky, tedy elementu, který ovládá vidlice převodovky. U původní verze slouží rotační pohyb palce k volbě vidlice a posuvný pohyb k samotnému řazení převodového stupně. Volba vidlice je tedy vykonávána posuvným pohybem řadicí páky vpravo/vlevo a řazení rychlosti posuvným pohybem vpřed/vzad. Volba probíhá mezi čtyřmi rovinami. První mezi 1. převodovým stupněm (Crawler) a zpětným chodem, druhá mezi 2. a 3. převodovým stupněm, třetí mezi 4. a 5. převodovým stupněm a čtvrtá mezi 6. a 7. převodovým stupněm, přičemž v převodovce je ovládaná třetí vidlice na 4. a 5. převodový stupeň a pomocí čidla se změní zařazený rychlostní stupeň v přidavném převodu, čímž se změní výsledný převodový poměr. Síla, kterou řidič vydá do řadicího pohybu páky, je zvýšena pneumatickým tlakem působící na píst. [3]



Obr. 23 Původní mechanicko-pneumatický posilovač TATRA [autor]

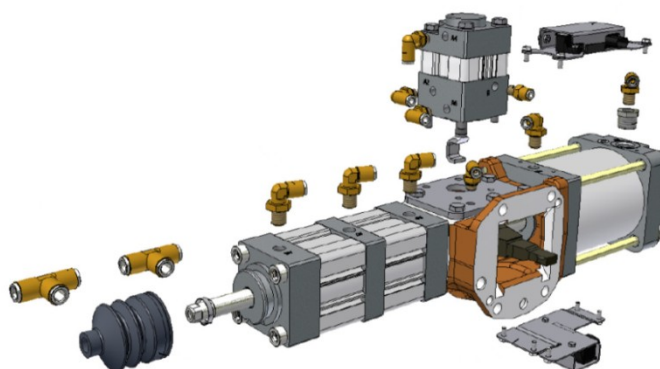


Obr. 24 Řez pneumatickým posilovačem TATRA [4]

Legenda: 1. ovládací tyč; 2. přední díl řadicí tyče; 3. válec posilovače; 4. ventil; 5. vedení; 6. zadní díl řadicí tyče; 7. skříň řazení; 8. zasouvací palec; 9. ochranný vak; 10. spínač; 11. šroubení přívodu vzduchu; 12. čep vidlice; 13. vodící kámen; 14. zajišťovací šroub; 15. aretační čep; 16. pružina; 17. pružina; 18. zátka; 19. kulička; 20. pružina; 21. šroub

2.4.2 Pneumatický posilovač TATRA-NORGREN

Tyto posilovače jsou vytvořeny ve spolupráci s americkou firmou Norgren. Jsou osazovány pouze na převodovky TATRA 10TS170 a 14TS210, tedy deseti, nebo čtrnácti-stupňový převodový agregát, který je osazen snímači zajišťující zpětnou vazbu zařazené rychlosti. Celý řadicí systém, včetně řadicí páky, je nahrazen elektropneumatickým systémem. V kabině vozidla je umístěna řídicí jednotka tohoto systému, zobrazovací displej na přístrojové desce, namísto řadicí páky je volič řazení a v dosahu řidiče také nouzové tlačítko pro vypnutí systému v případě jeho selhání. Elektromagnetický systém ventilů je umístěn přímo na převodovce v místech původního posilovače.



Obr. 25 Posilovač řazení TATRA-NORGREN [19]

Řidič vozidla pouze předvolí na voliči řazení plánovanou rychlost, což se zobrazí na displeji, a poté sešlápne spojkový pedál. Tím dojde k vlastnímu zařazení rychlosti pomocí tlaku vzduchu působící na píst propojený s palcem převodovky. Víko převodovky také umožňuje montáž pomocných pohonů.

Pokud je zvolen manuální režim, lze zařadit jakoukoli rychlost, avšak systém neumožní zařazení převodového stupně, jenž by způsobil přetočení motoru. Převodový stupeň se volí pohybem voliče řazení vpřed a vzad, což řadí nižší, nebo vyšší převodový stupeň. Na displeji se zobrazuje předvolený stupeň. Zařazení proběhne poté, co řidič vyšlápne spojkový pedál. Správné zařazení je potvrzeno akustickým signálem a spojkový poté je možno uvolnit spojkový pedál.

Při automatickém režimu se voličem nastavuje požadovaný mód. Lze tak přizpůsobit jízdním podmínkám a potřebám řidiče. Tyto režimy nabízejí řazení rychlostních stupňů v závislosti na naprogramovaných otáčkách motoru, které odpovídají předvolenému módu převodovky. Řidičem takto nastavený mód je zobrazován na displeji a zařazení převodové

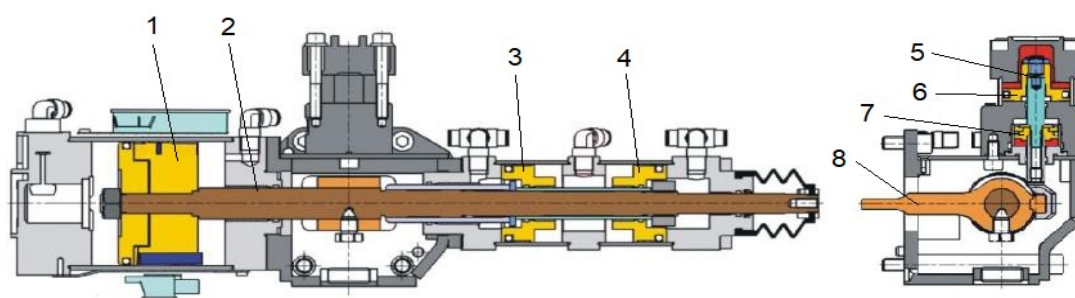
rychlosti proběhne opět po vyšlápnutí spojkového pedálu. Úspěšné zařazení rychlostního stupně je signalizováno akustickým tónem, přičemž je možné spojkový pedál uvolnit. Řidič však může i v automatickém módu upravovat zařazené rychlosti voličem řazení a změnit tak dynamiku vozidla dle svých potřeb.

Pokud by chtěl řidič vozidla zařadit převodovou rychlost se sepnutou spojkou, je zde ochrana v podobě elektropneumatického ventilu, který vpouští stlačený vzduch do pracovních válců až po vyšlápnutí minimálně 70% dráhy spojkového pedálu.

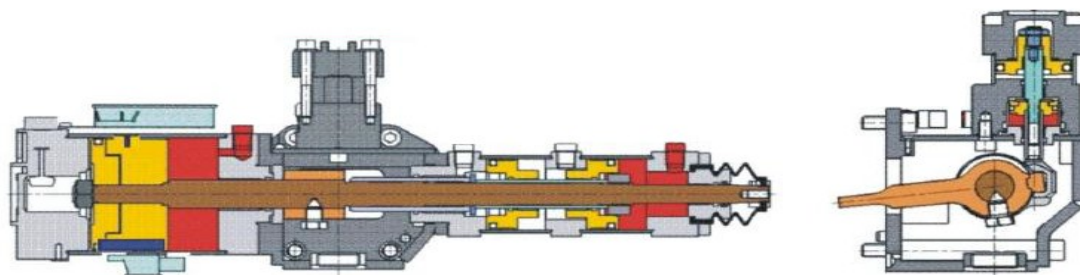
Režimy automatického módu jsou rozděleny dle potřeby jízdních vlastností vozidla. AE – ekonomický mód jízdy, AM – mód při zatížení vozidla, AP – dynamický mód jízdy, AS – mód samo-vyproštění vozidla a MB – mód motorové brzdy. Tatra také nabízí odborné školení řidičům využívající tento systém a to s důrazem na optimální použití systému řazení.

Na obrázcích je zobrazen tento posilovač v řezu. Lze zde vidět celkem pět pneumatických válců. Hlavní pneumatický válec (č. 1) společně s válci pomocnými (č. 3 a 4), jež jsou umístěny na hlavní hřídel posilovače (č. 2), slouží k zařazení převodového stupně pomocí řadícího palce (č. 8). Další pneumatické válce (č. 6 a 7) jsou umístěny na pomocné hřídeli (č. 5) a produkují sílu pro volící pohyb, tedy pohyb mezi řadícími rovinami.

Skrze viditelné vstupy je zde dodávané pracovní médium, tedy stlačený vzduch proudící od aktuátoru, který je řízen již zmíněnou řídicí jednotkou. [5]



Obr. 26 Posilovač TATRA-NORGREN v neutrální poloze [5]

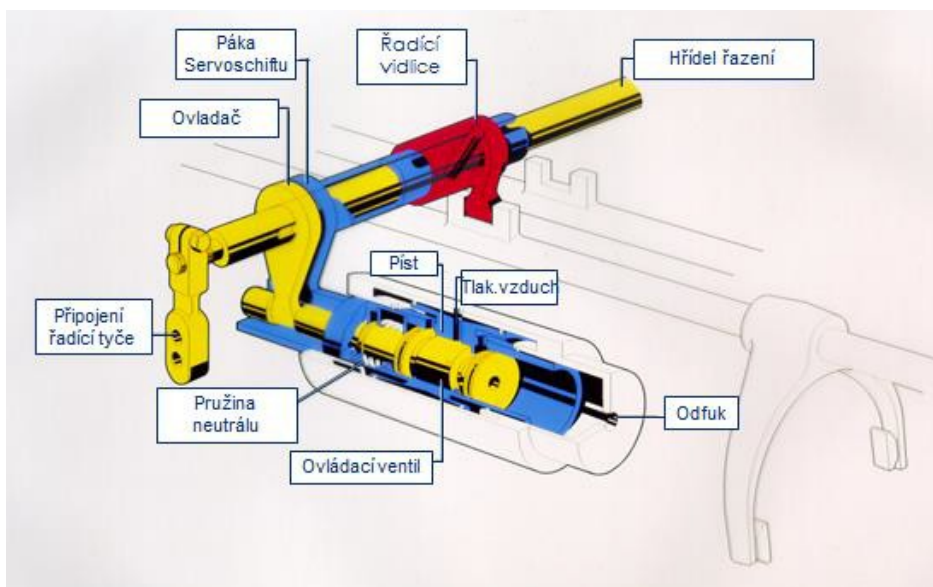


Obr. 27 Posilovač TATRA-NORGREN v poloze zařazení druhého rychlostního stupně [5]

2.4.3 Posilovče řazení převodovky ZF Eco

Převodové agregáty ZF Eco používají mechanicko-pneumatické systémy řazení nazývaný Servoshift. Tento systém je v kategorii automatizovaných řadicích systémů a je nedílnou součástí dodávaných převodovek EcoSplit, EcoMid a EcoLite, jednotlivé typy se však od sebe liší výši maximálního přeneseného momentu.

Samotné řazení probíhá obdobně jak u mechanické převodovky s tím rozdílem, že řidič nezařadí rychlostní stupeň, dokud nepřekoná spojkovým pedálem minimálně 70% dráhy. Tento systém je zabezpečení proti zařazení bez vyšlápnutého spojkového pedálu a probíhá sepnutím elektromagnetického ventilu, který propustí kalibrovaným otvorem stlačený vzduch do pístu posilovače řazení. Přivedený stlačený vzduch je dodáván z centrálního rozvodu. Posilovač funguje s tlakem okolo 8 bar a zvyšuje řadicí sílu natolik, že bylo možné zkrátit řadicí páku a tím i zmenšit pohyby při řazení. [10]



Obr. 28 Posilovač řazení převodovky ZF řady ECO [7]

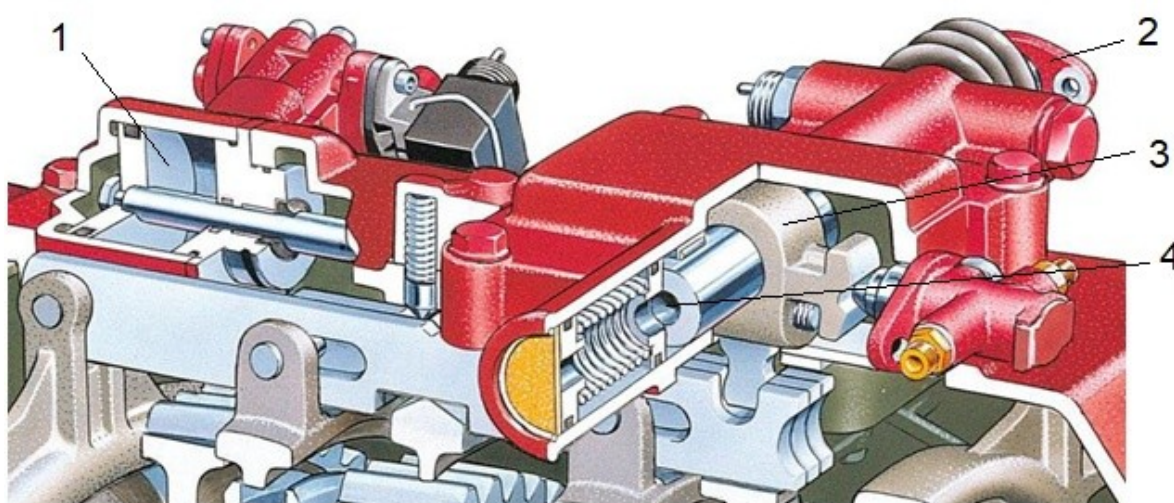
Výrobce převodovek řadicí sílu neuvádí. Naštěstí mi byly zpřístupněny dva vyřazené posilovače řazení ZF, které jsem také rozmontoval a prozkoumal. Šíře pracovního válce byla naměřena 72 mm, při pracovním tlaku 8 bar pomocí výpočtu zjišťuji výslednou sílu 3 257 N, která je v porovnání s řazením TATRA o 29 % menší. Tento výsledek si vysvětluji lepší synchronizací převodových stupňů a také kvalitnější a modernější koncepcí převodového ústrojí.

$$F_{ZF} = p_{ZF} \cdot S_{ZF} = p_{ZF} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 800\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,072^2}{4} = 3\,257\,N \quad (2.1)$$

2.5 Jiné posilovače řazení

2.5.1 Posilovač Scania

Převodové ústrojí Scania je osazeno posilovačem řazení zvané Opticruise. Tento elektropneumatický systém řazení adaptuje veškeré své pokyny aspektům jízdy jako poloha plynového pedálu, charakteristika motoru, náklon vozidla, stav vozovky a hmotnost vozidla tak, aby zařídila co nejkratší reakci na změnu polohy plynového pedálu. Systém je montován v kombinaci s elektrohydraulickou spojkou, která zaručuje vysoce přesnou odezvu.



Obr. 29 Posilovač řazení OPTICRUISE vyvinut firmou SCANIA [20]

Na vstup do posilovače (č. 2) je napojena řadící tyč, která koná jak řadící, tak volící pohyb. Řadící pohyb je pneumatickým válcem posílen, takže řidič vozidla vyvozuje opravdu malé síly do řadící páky. Hlavní pneumatický válec (č. 1) vytváří potřebnou sílu k zařazení převodového stupně a jeho posuvný pohyb je pomocí páky přenesen na rotační pohyb řadícího palce (č. 3), jež se posouvá po hlavní hřídeli (č. 4).

Řadící síla je v tomto případě ještě nižší vůči síle využívané u převodovek ZF, neboť průměr pracovního válce je v tomto případě 85 mm a pracovní tlak vzduchu se pohybuje okolo 5 bar. Pomocí snadného výpočtu lze zjistit, že daný posilovač produkuje řadící sílu okolo 2 837 N. Výsledek naznačuje opravdu kvalitní zpracování převodového ústrojí, neboť v porovnání s řazením Tatra je výsledná síla nižší o necelých 40%.

$$F_{SC} = p_{SC} \cdot S_{SC} = p_{SC} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 500\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,085^2}{4} = 2\,837\,N \quad (2.2)$$

2.5.2 Posilovač Agrotron

Výrobce traktorů Agrotron používá elektrohydraulický systém řazení, který má řidičem vykonanou sílu na řadicí páku snížit na minimum. Tento systém se jmenuje ComfortShift a byl aplikován v roce 2015 na traktor AgroTron 6, kde plně nahradil soustavu bowdenů a táhel řazení. K zařazení není třeba sešlapovat spojkový pedál, neboť ten je spínaný také elektrohydraulicky, proto stačí pouze potáhnout joystick. Systém zaručuje hladké přeřazení trvajícím maximálně půl vteřiny.



Obr. 30 Posilovač řazení ComfortShift [21]

2.5.3 Elektromagnetické a hydraulické posilovače

Elektromagnetický, nebo hydraulický systém řazení se v dnešní době u sériových vozidel moc nevyužívá. Nevýhod to má hned několik. Vysoká pořizovací cena, vysoká nespolehlivost systému, finančně náročná údržba, u hydraulického systému možnost ekologického znečištění a další. Takovýto systém řazení se častěji objevuje u sportovních automobilů, ale výjimkou je také výše zmíněný systém ComfortShift. Další česká firma Zetor se pokoušela o zavedení tohoto systému do výroby, ovšem nákladnost systému zamezila jejímu uskutečnění.

3. Problematika posilovačů řazení TATRA

3.1 Mechanicko-pneumatický posilovač TATRA

Tento typ řazení se používá již přes 30 let a díky zpětné vazbě zákazníků lze říct, že jsou více než spolehlivé. Ovšem negativní reakcí na tento typ posilovače je špatná aretace volícího pohybu, tedy při pohybu řadicí pákou vlevo/vpravo řidič špatně rozpoznává jednotlivé řady převodů. Hledání rychlostního stupně je tak obtížné a mnohdy může dojít ke špatnému zařazení, což může vést k přetočení motoru, zničení spojky, převodovky, nebo jiného ústrojí na hnacím traktu vozidla.

3.2 Pneumatický posilovač TATRA-NORGREN

Druhým typem je automatizovaný pneumatický řadicí systém TATRA-NORGREN. Ten je dodáván pro ulehčení práce obsluze vozidla. Systém není tak spolehlivý, navíc má špatnou zpětnou vazbu zákazníků na reakce řídící jednotky. Ta někdy v daných režimech chystá špatný rychlostní stupeň, neboť vstupní parametry nedostatečně charakterizují vnější vlivy na vozidlo.

3.3 Požadavky kladené na posilovač řazení

Hlavním důvodem pro vývoj nového posilovače řazení vyráběné firmou Tatra je změna volícího pohybu hřídele, který je u původní verze zajišťován radiálním pohybem hřídele, na axiální pohyb hřídele. Toto umožní vylepšení aretace volícího pohybu na posilovači a tím zvýší komfort řidiče v podobě přesnějšího řazení. Původní systém je aretován pouze vrácením řadicího palce za pomoci postranních pružin s kuličkami.

Veškeré vstupní požadavky na posilovač pramení z konstrukčního oddělení Tatra Trucks a.s., neboť právě ve spolupráci s tímto oddělením je posilovač konstruován. Médium pro pohon bude stlačený vzduch odebírán z centrálního rozvodu. Tlak v centrálním systému se pohybuje v rozmezí 7÷8 bar, tedy pro správnou funkčnost systému počítám se spodní hodnotou 7 bar.

Důležitým požadavkem jsou také maximální zástavbové rozměry posilovače, neboť převodovka s posilovačem jsou montovány uvnitř rámu. Posilovač nesmí zasahovat do jakékoliv části převodovky a rámu, zároveň musí být kompatibilní příruba k převodovce a také musí být zachován montážní prostor pro údržbu převodovky. Jakákoliv odchylka by znamenala změnu víka převodovky a tudíž obrovské náklady na nový odlitek.

4. Konstrukční návrh posilovače řazení

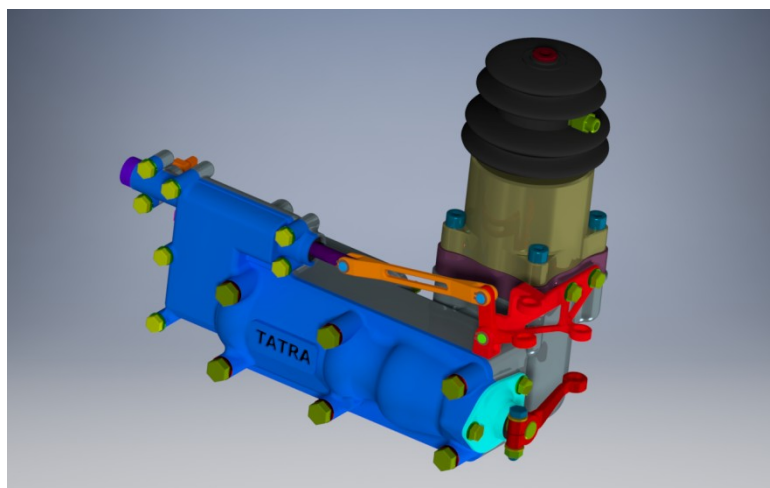
Konstrukční návrh pneumatického posilovače řazení je řešen se vstupními podmínkami konstrukčního oddělení Tatra Trucks a.s., které musí být striktně dodrženy. Hlavním důvodem nové konstrukce je zlepšení aretace volícího pohybu, neboť u dosavadní konstrukce je tato aretace problematická.

Pro umožnění aretace volícího pohybu je nutné hřídel posilovače uložit zcela jinak, než řeší původní mechanismus. Řadící pohyb u stávajícího posilovače je řešen posuvným pohybem řadící tyče pevně spjatou s palcem řazení. Volba roviny převodů probíhá axiální rotací hlavní hřídele. Díky malému prostoru není možné hřídel rozšířit, a tím umožnit bezpečnou aretaci. U nového posilovače je tedy velice důležité, aby byl řadící pohyb řešen rotačním pohybem hřídele a volící pohyb pohybem posuvným, na kterém lze lépe aretovat daný pohyb.

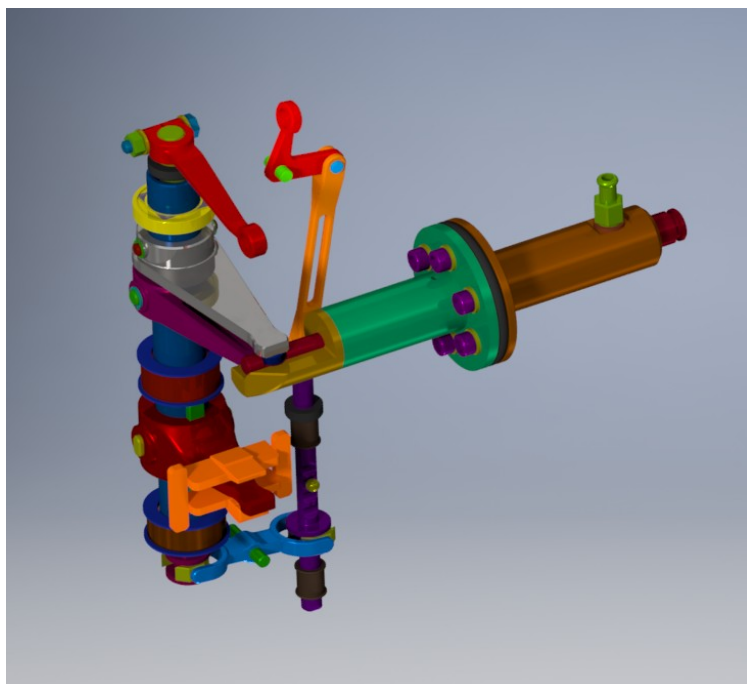
4.1 Návrh posilovače řazení

Hlavní omezující podmínky konstrukce:

1. Zástavbové rozměry posilovače
2. Výstupní síla posilovače
3. Rozměry řadícího palce
4. Přesné pohyby řadícího palce
5. Bowdenové ovládání
6. Tlak pracovního média
7. Výsledná cena posilovače



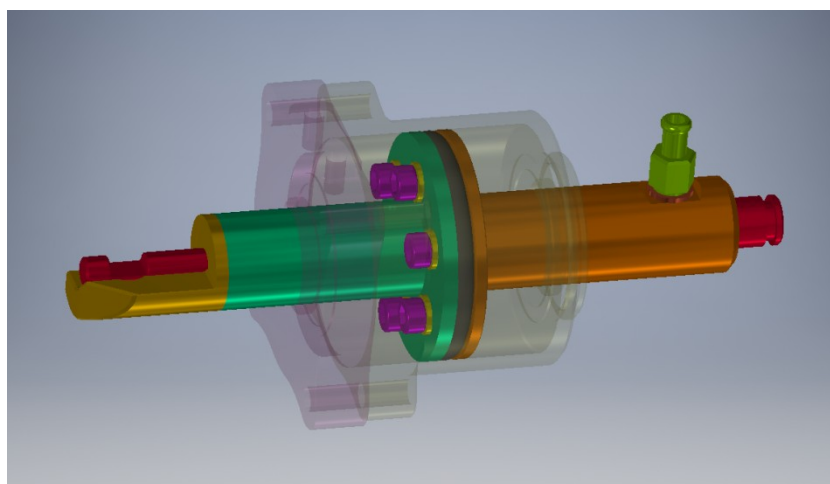
Obr. 31 Navržený posilovač [autor]



Obr. 32 Mechanismus posilovače [autor]

4.1.1 Pneumatický posilovač (píst)

Pneumatický válec je mechanické zařízení, které je využíváno pro převod tlaku stlačeného vzduchu na mechanický posuvný pohyb. Tlak média působí na pracovní plochu válce a dále na pístní tyč. V porovnání s hydraulickými válci je pohyb díky stlačitelnosti média hůře polohovatelný, ale samotné použití je jednodušší vlivem absence hydraulické kapaliny a při poruše systému nehrozí ekologické znečištění okolí. Pracovní tlaky pneumatických zařízení se běžně pohybují v rozmezí $2 \div 16$ barů, což je v porovnání s hydraulickými tlaky, které bývají $20 \div 5000$ barů, o mnohem méně, tudíž celkové rozměry pneumatického válce jsou při stejné výsledné síle několikanásobně větší.



Obr. 33 Pneumatický válec [autor]

4.1.1.1 Rozměry pracovního pístu

Pro sílu pneumatického válce je velmi jednoduchý výpočet, který vychází ze dvou základních veličin. Prvním vstupním prvkem je minimální tlak v sestavě, který bude působit na plochu pístu ve válci. Druhým z prvků je plocha, na kterou bude tento tlak působit. V obou případech pneumatického válce je počítána plocha válce zmenšená o plochu pístní tyče, neboť ta vystupuje z válce z obou směrů. Je nutno počítat také s třením mezi pohyblivými komponentami.

4.1.1.2 Pracovní plocha pístu

Pracovní plocha pístu je přímo úměrná výsledné síle válce za použití konstantního tlaku. Z výpočtu vím, že je nutné, aby pneumatický válec vytvářel sílu 3 589 N. Snížená pracovní síla je umožněna různými délkami pomocných palců. Řadící palec má bod tlačení ve vzdálenosti 87 mm od osy hřídele, za to pomocný řadící palec má bod tlačení vzdálen 111 mm. Byť je tlak vzduchu v centrálním systému nastaven na 8 bar, mechanismus je počítán pro správnou funkčnost i při sníženém tlaku na 7 bar. Dále je započítána ztráta výsledné síly 10% v podobě tření materiálů.

4.1.1.3 Síla pomocného řadícího palce

Výpočet potřebné síly dodávané pracovním válcem na rameno pomocného palce.

- Rameno řadícího palce: 87 mm
- Rameno pomocného řadícího palce: 111 mm

$$F_P \cdot a_P = F_{PP} \cdot a_{PP} \rightarrow F_{PP} = \frac{F_P \cdot a_P}{a_{PP}} = \frac{4580 \cdot 0,087}{0,111} = \mathbf{3590\ N} \quad (4.1)$$

4.1.1.4 Pracovní plocha válce

Výpočet pracovní plochy válce, přímo úměrné výsledné síle pneumatického válce.

- Průměr válce: 93 mm
- Průměr pístní tyče: 19 mm

$$S_v = \pi(R^2 - r^2) = \pi(0,0465^2 - 0,019^2) = \mathbf{5,659 \cdot 10^{-3}\ m^2} \quad (4.2)$$

4.1.1.5 Síla pneumatického válce

Se započítáním 10% ztrát je nutné získat vypočtenou sílu minimálně 3 950 N.

$$F_{pV} = p \cdot S = 700\,000 \cdot 5,659 \times 10^{-3} = \mathbf{3961\,N} \quad (4.3)$$

Daná síla vyhovuje, navrhnuté rozměry pneumatického válce mohou být použity.

4.1.1.6 Průměr plnicí díry pístu

V této kapitole chci vypočítat Reynoldsovo číslo proudění vzduchu, které určuje, zda se jedná o laminární, nebo turbulentní víření. Výsledek by však neměl mít vliv na funkčnost, neboť proudění vzduchu se dá v obou případech považovat za ideální. Čas potřebný k zařazení je přímo úměrný rychlosti pístu pneumatického válce. Mým cílem je dosáhnout rychlosti změny převodového stupně do jedné sekundy. To znamená, že píst musí být schopen za tento čas urazit dráhu od horní do spodní úvratě. Objem válce je počítán jen pro jednu stranu pracovního válce, tedy vzdálenost od stěny válce k pístu v jeho koncové pozici. Obě strany jsou totožné, tudíž není třeba výpočtu pro druhou stranu válce.

Objem pracovního válce:

$$V_v = S_v \cdot l_v = 5,659 \cdot 10^{-3} \cdot 0,058 = \mathbf{3,282 \cdot 10^{-4}\,m^3} \quad (4.4)$$

Hustota stlačeného vzduchu:

$$\rho = \frac{1}{r} \cdot \frac{p}{T} = \frac{1}{286,0787} \cdot \frac{808\,000}{293,15} = \mathbf{9,635\,kg \cdot m^{-3}} \quad (4.5)$$

Dynamická viskozita vzduchu:

$$\eta = \eta_0 e^{aT} = 8,78 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0,00248 \cdot 293,15} = \mathbf{1,817 \cdot 10^{-5}\,Pa \cdot s} \quad (4.6)$$

Kinematická viskozita vzduchu:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{1,817 \cdot 10^{-5}}{9,635} = \mathbf{1,8853 \cdot 10^{-6}\,m^2 \cdot s^{-1}} \quad (4.7)$$

Průtok vzduchu:

$$Q = \frac{V_v}{t_z} = \frac{3,282 \cdot 10^{-4}}{2} = \mathbf{1,641 \cdot 10^{-4}\,m^3 \cdot s^{-1}} \quad (4.8)$$

Rychlost proudění vzduchu:

$$v = \frac{Q}{S_D} = \frac{1,641 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0,0025^2 \cdot 2} = \mathbf{4,18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (4.9)$$

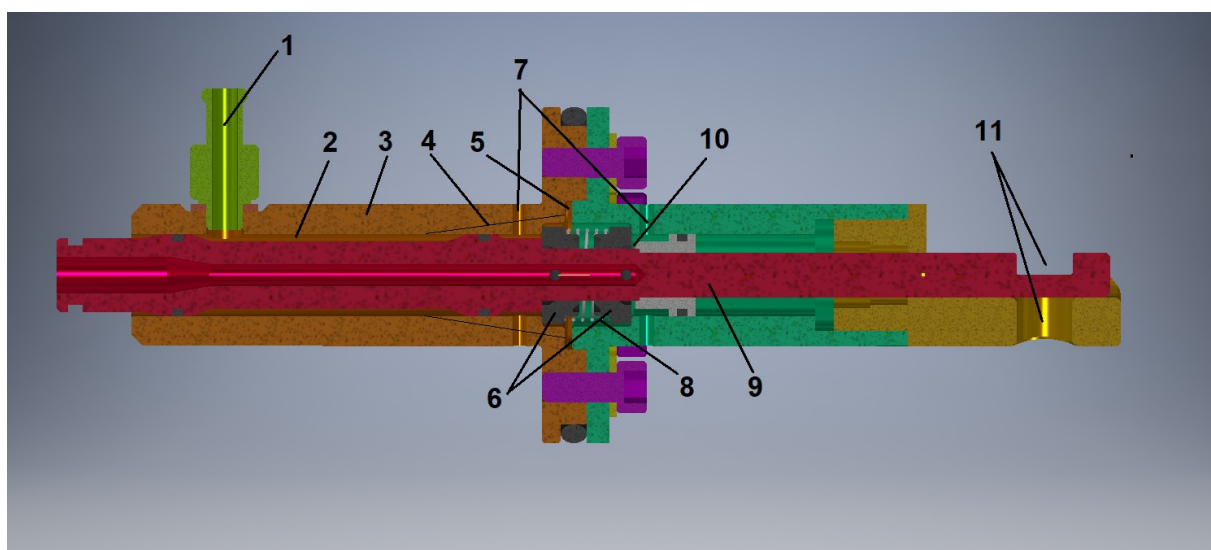
Reynoldsovo číslo:

$$R_e = \frac{v_s \cdot d}{\nu} = \frac{4,18 \cdot 0,005}{1,8853 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{11\ 085} \quad (4.10)$$

Výsledek ukazuje na výskyt turbulentního víření vzduchu při průchodu nejúžším otvorem o průměru 5 mm. Tyto díry jsou celkem dvě, což snižuje samotnou rychlost proudění na $4,18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Proudění vzduchu se dá považovat za ideální, pokud rychlost proudění stlačeného vzduchu bude nižší než $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pohyb pístu by neměl být tedy samotnou dodávkou stlačeného vzduchu omezen. [10]

4.1.2 Řídicí mechanismus posilovače

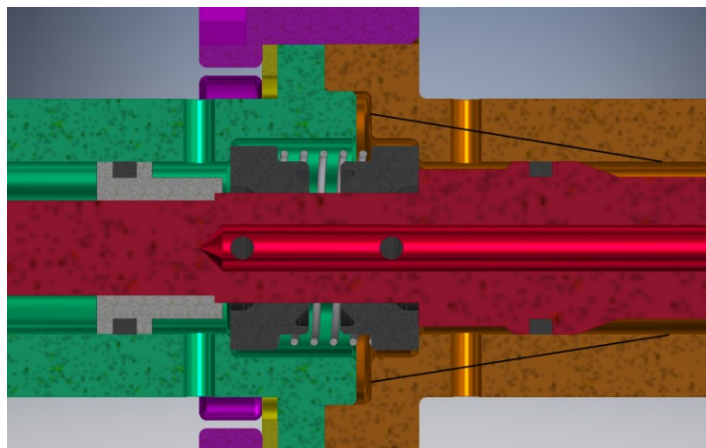
Ovládání pneumatického válce je docíleno mechanickým přepouštěním stlačeného vzduchu uvnitř pístu. Tento systém je inspirován původním mechanicko-pneumatickým posilovačem Tatra, avšak původní konstrukční řešení nevyhovovalo a tudíž muselo být nově navrženo.



Obr. 34 Řez pístu posilovače [autor]

Stlačený vzduch je přiváděn do vstupního otvoru (č. 1). Stlačený vzduch dále putuje do meziprostoru (č. 2) pístní tyče (č. 3) a je dopravován dírami (č. 4), které jsou vůči ose rotace otočeny o 90° , do centrálního prostoru posilovače (č. 5). Zde je dvojce těsnění (č. 6) zaručující celou funkci posilovače, neboť posunutím jednoho z těsnění dojde k přepuštění

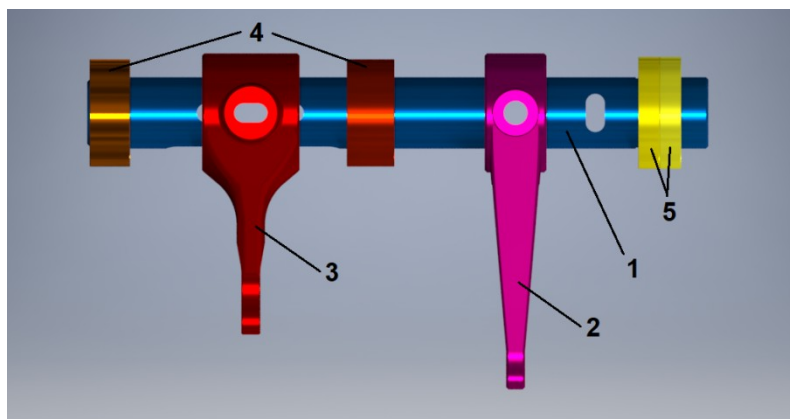
vzduchu dírou v pístnici (č. 7) do jedné ze strany válce. Jakmile dojde k dosažení požadované dráhy pístnice, těsnění se díky pružině (č. 8) vrátí do počáteční polohy. Odfouknutí stlačeného vzduchu z válce probíhá ihned po odsunutí řídicí tyče (č. 9) od těsnění, neboť vzduch z tohoto meziprostoru (č. 10) je dírou upuštěn do duté řídicí tyče a odtud do ovzduší. Řídicí tyč a konec pracovního válce jsou uzpůsobeny pro vložení pomocných řídících palců (č. 11), které řídí funkci posilovače a odbírá síly jím vytvořené.



Obr. 35 Detail mechanismu [autor]

4.1.3 Hřídel posilovače

Hřídel posilovače (č. 1) zajišťuje přenos krouticího momentu vytvořeného posuvným pohybem pneumatického posilovače skrze pomocný řídící palec posilovače (č. 2) na řídící palec posilovače (č. 3) a zajistí tak správnou funkci za dodržení pevnostních podmínek se zadaným koeficientem bezpečnosti. Díky konstrukce těla posilovače je uložena v čtveřici valivých ložisek. Spodní a prostřední ložisko (č. 4) je použito jehlové, neboť tyto ložiska s rezervami odolávají danému zatížení. Horní ložiska (č. 5) jsou použity kuličkové, aby byl zamezen i axiální pohyb hlavní hřídele.



Obr. 36 Hřídel posilovače - pevnostní osazení [autor]

4.1.3.1 Volba materiálu hřídele

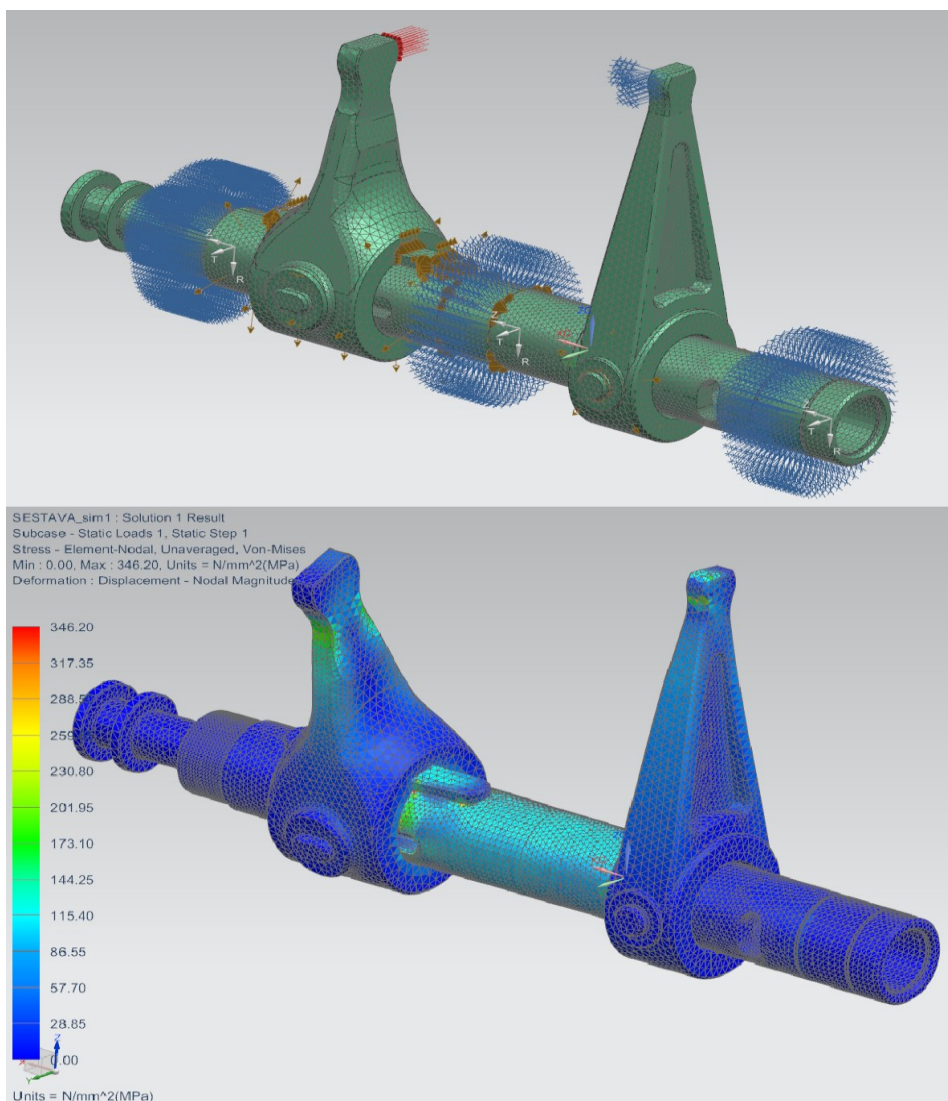
Pro hřídel volím materiál označen dle ČSN 15 230.7, neboť je vhodný pro takto namáhanou a složitou hřídel. Vyniká vysokou pevností 980 až 1 180 MPa a využívá se na velmi namáhané strojní součásti jako klikové hřídele, ojnice, vahadla ventilů a další.

Tab. 8 Materiálové vlastnosti 15 230.7

Rm	980 – 1 180 MPa
Re	590 MPa

4.1.3.2 Výpočet hřídele na krut

Zavedené vazby modelu FEM a jejich výsledek. Velikost prvku maximálně 2 mm. Vstupní síla 5 000 N.

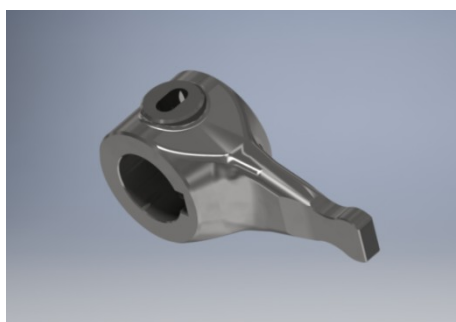


Obr. 37 FEM model a výsledek simulace [autor]

Na výsledcích pevnostní analýzy hřídele posilovače si lze povšimnout největšího maximálního napětí materiálu 346,2 MPa při zavedení síly 5 000 N. Materiál hřídele je použitý 15 230.7 s pevností 980 MPa. Však pro použití a zachování smluveného koeficientu bezpečnosti 2 je nutno počítat s maximální pevností 490 MPa. Hřídel tedy pevnostně vyhovuje a může být použita.

4.1.4 Řadicí palec

Řadicí palec posilovače slouží k samotné volbě a zařazení převodového stupně pomocí styku s převodovými vidlicemi uvnitř převodové skříně. Palec musí odolávat vysokému zatížení, zvláště pak v místě zúžení před samotným koncem. Zároveň musí být opatřen mechanismem proti špatnému zařazení blokující nesprávný pohyb, aby nedocházelo k poškození převodovky. Zúžení je z důvodů eliminace vzpěru náklonem palce ve vidlici převodovky. Šířka konce palce je zanechána, neboť jakákoliv změna na této součásti by znamenala změnu součástí převodové skříně a tedy několikanásobné prodražení výrobku.



Obr. 38 Řadicí palec [autor]

4.1.4.1 Volba materiálu palce

Materiál pro výrobu řadicího palce jsem zvolil stejný, jako Tatra používá při výrobě řadicích palců u všech jiných posilovačů, tedy 18CrNiMo7-6+HH, ekvivalent k materiálu označen dle normy ČSN 14 224. Tento materiál je dostatečně odolný pro přenos takto velkých zatížení při zachování malé plochy průřezu.

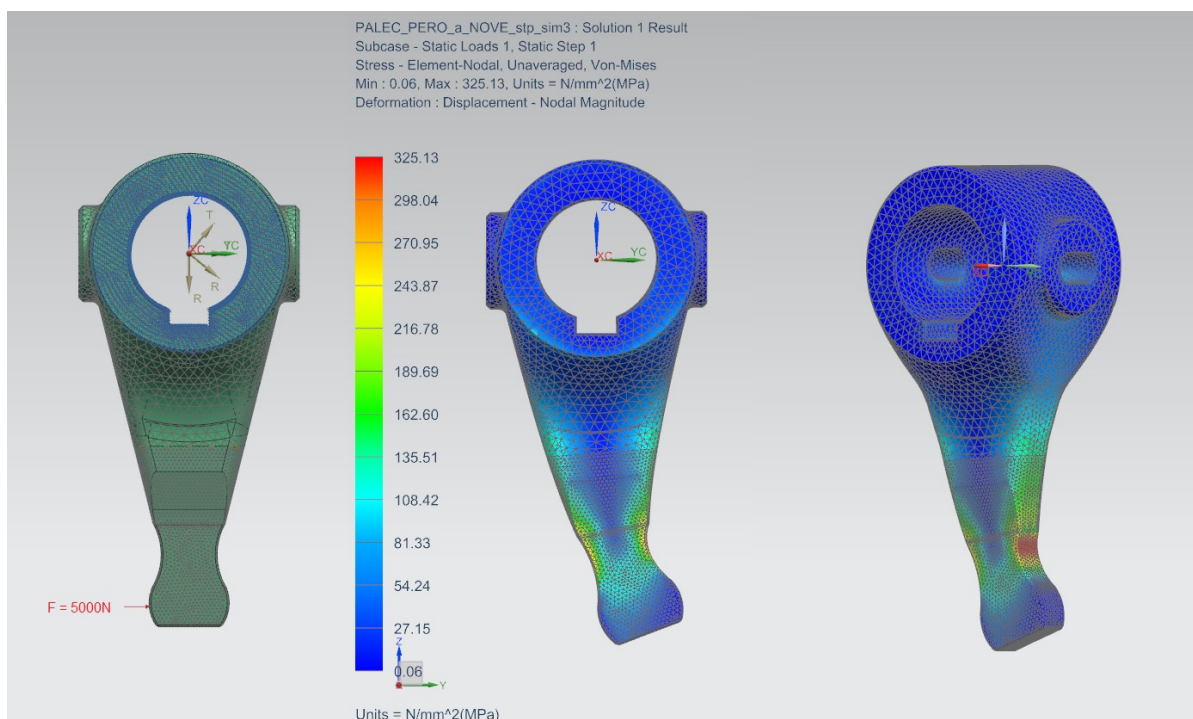
Tab. 9 Materiálové vlastnosti 18CrNiMo7-6+HH

R_m_{oc1}	685 – 980 MPa
R_e_{oc1}	490 MPa
E_{oc1}	210 GPa
μ_{oc1}	0,27 – 0,3

4.1.4.2 Pevnostní analýza palce

Pevnostní analýza je prováděna v simulačním prostředí Siemens NX 9.0 s výpočetním programem Nastran. Simulace má prokázat dostatečnou pevnost řadicího palce, nebo ukázat na jeho nedokonalosti s nutností změny tvaru, či materiálu.

V místě zúžení je síť prvků zmenšena, protože právě zde očekávám výsledek největšího napětí materiálu.



Obr. 39 Pevnostní analýza řadicího palce [autor]

Na palec je simulováno zatížení 5 000 N, tedy síla přesahující výslednou sílu posilovače. To je z důvodu dalšího zpřísnění vstupních podmínek, a tím zvýšení bezpečnosti palce. Je jasně viditelné pnutí nad místem zúžení. To si vysvětlují větší pákou působenou v daném místě na materiál. Velikost napětí dle Von-Mises je 325,13 MPa. Díky koeficientu bezpečnosti 2 je požadované maximální napětí v materiálu 342,5 MPa, tudíž palec splňuje požadavek pevnosti.

4.1.4.3 Pevnostní výpočet pera

Pro pero volím materiál dle označení ČSN 12 060.1, neboť jeho vlastnosti splňují dané požadavky.

Tab. 10 Materiálové vlastnosti 12 060.1

Rm	600 MPa
Re	345 MPa

Pero je dlouhé 75 mm. Ale funkční část je dlouhá pouze 40 mm, neboť řadící palec po peru koná posuvný pohyb. Koeficient bezpečnosti = 2 nám limituje mez pevnosti materiálu na 300 MPa a mez kluzu na 172,5 MPa.

Kontrola na střih:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{26\,666}{0,04 \cdot 0,01} = \mathbf{66,7\,MPa} \leq \tau_{DS} \quad (4.11)$$

Kontrola na otlačení:

$$p_1 = \frac{F}{l \cdot a} = \frac{26\,666}{0,04 \cdot 0,00388} = \mathbf{171,8\,MPa} \leq p_{DS} \quad (4.12)$$

Pero je vhodné pro použití, neboť byl dodržen koeficient bezpečnosti = 2, ale rozdíl mezi teoretickou a maximální povoleným napětím je minimální. V případě potřeby bych navrhnul použít materiál stejný, jako je použitý na čep pomocného palce, tedy dle označení ČSN 14 220.4.

4.1.5 Pomocný řadící palec

Pomocný řadící palec slouží k přenosu síly pístní tyče pneumatického posilovače na hlavní hřídel, odkud je přenesena na řadící palec. Pomocí tohoto palce mohou zmenšit potřebnou sílu posilovače, neboť díky delšímu palci, a tím větší páce, dosáhnou většího krouticího momentu na hlavní hřídeli. Samozřejmostí je delší posuvný pohyb pístu, ale o to menší celkový průměr válce.

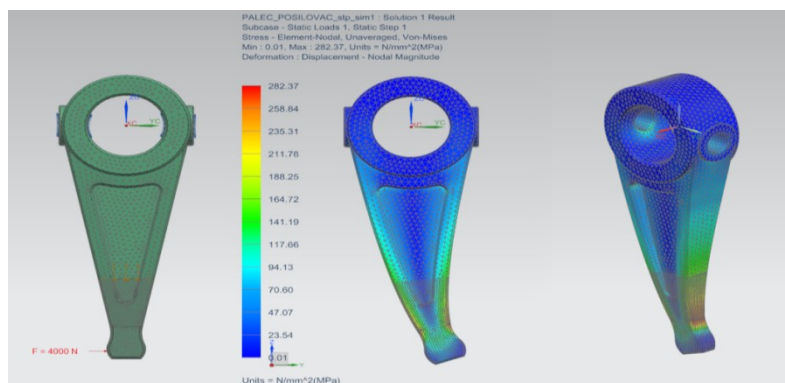


Obr. 40 Pomocný řadící palec [autor]

4.1.5.1 Volba materiálu palce

Volba materiálu je totožná s palcem řazení, tedy označení dle 18CrNiMo7-6+HH, neboť odolává velkému zatížení a je vhodný i pro toto použití.

4.1.5.2 Pevnostní analýza palce



Obr. 41 Pevnostní analýza pomocného palce [autor]

Z výsledku je patrné, že největší napětí vzniklo těsně před místem největšího zúžení. Je to takřka totožný případ jako palec řadící, jen výsledné napětí je díky delší páce palce menší. Maximální napětí činí 282,37 MPa. Koeficient bezpečnosti 2 dodržují tedy s rezervami. V simulaci je zavedena síla 4 000 N, tedy opět vyšší, než maximální teoretická.

4.1.5.3 Pevnostní výpočet čepu

Pro čep volím materiál dle označení ČSN 14 220.4.

Tab. 11 Materiálové vlastnosti 14 220.4

R_m	785 MPa
R_e	590 MPa

Koeficient bezpečnosti 2 nám limituje mez pevnosti materiálu na 392,5 MPa a mez kluzu na 295 MPa.

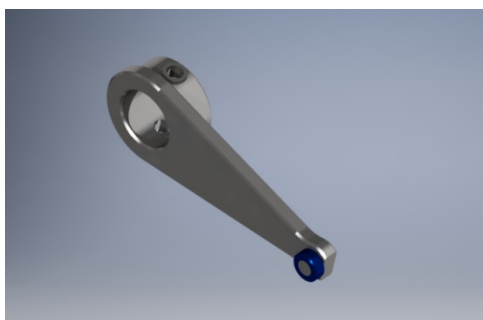
$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{26\,666}{\pi \cdot 0,0055^2} = \mathbf{280,5\,MPa} \leq \tau_{DS} \quad (4.13)$$

$$p_1 = \frac{F}{d \cdot a} = \frac{26\,666}{0,011 \cdot 0,011} = \mathbf{220,4\,MPa} \leq p_{DS} \quad (4.14)$$

Z výpočtu usuzuji, že je čep dostatečně pevný pro přenos tohoto zatížení. Koeficient bezpečnosti 2 byl s rezervami dodržen.

4.1.6 Pomocný vstupní palec

Pomocný vstupní palec slouží k přenosu momentu vstupní hřídele na posuvný pohyb řídicí tyče pneumatického válce. Zajišťuje tak odezvu na řadící páku a funkčnost celého systému. Je vyroben ze stejného materiálu jako předešlé palce. Od předešlých palců se liší osazením kluzným elementem na jeho konci, který zaručuje nižší tření s řídicí tyčí a tím menší zaváděcí síly do řadící páky a výsledně větší životnost.



Obr. 42 Pomocný vstupní palec [autor]

4.1.6.1 Kontrola čepu na ohyb

Čep vstupního palce není namáhán na střih, ale na ohyb, jelikož propojení mezi vstupní hřídelí a tímto palmem je řešeno zevnitř hřídele posilovače. Průměr vstupní hřídele je 16 mm, průměr hlavní hřídele 30 mm. Čep tedy není na obou stranách 7 mm podpírán. Počítám se vstupní silou 90 N do řídicí tyče pneumatického válce, neboť tato síla bezpečně potlačí pružinku řídicího mechanismu. Páka na palci činí 111 mm, z toho vyplývá moment na hřídeli 11,1 Nm.

Volba materiálu čepu:

Zvolený materiál označen dle normy ČSN 11 500.0 je vhodný pro dané použití, neboť se využívá pro dynamicky méně namáhané čepy, kolíky, hřídele a další. Čep je nutno zkontrolovat na ohyb.

Tab. 12 Materiálové vlastnosti 11 500.0

Re	470 – 610 MPa
Rm	245 MPa

Průřezová charakteristika:

$$W = \frac{1}{4}\pi r^3 = \frac{1}{32}\pi d^3 = \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot 0,008^3 = \mathbf{5,03 \cdot 10^{-8} m^3} \quad (4.15)$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W_0 = \frac{W}{l} = \frac{5,03 \cdot 10^{-8}}{0,007} = \mathbf{7,186 \cdot 10^{-6}} \quad (4.16)$$

Napětí materiálu při ohybu:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} = \frac{11,1}{7,186 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{15,4 MPa} \leq \sigma_{D0} \quad (4.17)$$

Výpočet dovoleného napětí:

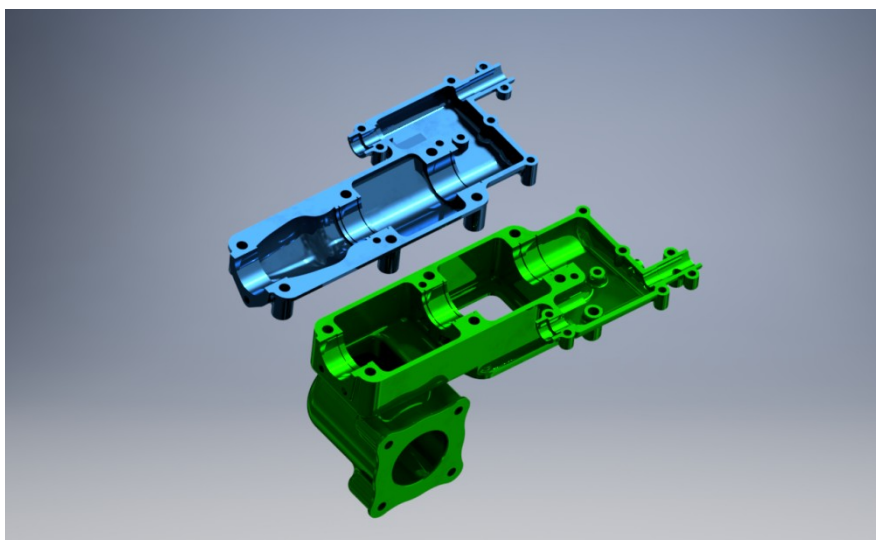
$$\sigma_{D0} = \frac{Re}{k} = \frac{470}{2} = \mathbf{235 MPa} \quad (4.18)$$

Maximální napětí vyhovuje danému materiálu. Koeficient bezpečnosti je několikanásobně dodržen. Je nutné přihlížet také na to, že vstupní síly řidiče mohou být vyšší a tím by došlo k deformaci čepu a tím znemožnění funkce posilovače.

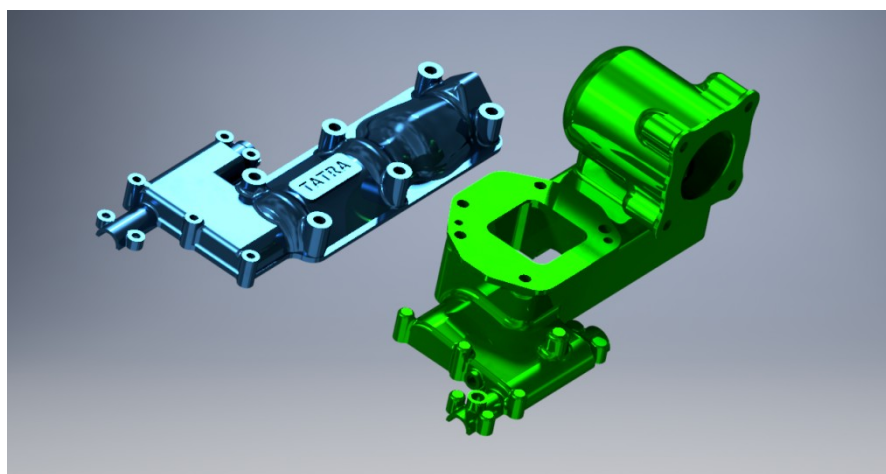
4.1.7 Tělo posilovače

Tělo posilovače zajišťuje několik důležitých funkcí. Vytváří nosnou konstrukci pro všechny pohyblivé i nepohyblivé části posilovače, umožňuje namontování dalších potřebných komponentů, jako je pneumatický válec, čidla, aretace pohybu a dále zajišťuje ochranný obal pro tyto součásti a celé převodové ústrojí, neboť lícuje na přírubu převodové skříně. Těsnost tohoto systému je naprosto nezbytná. Únik oleje z převodového ústrojí by znamenal znečištění okolí a ztrátu olejové náplně. V neposlední řadě slouží k upevnění posilovače na převodovou skříň s přenesením veškerých reakcí vzniklých činnostmi posilovače.

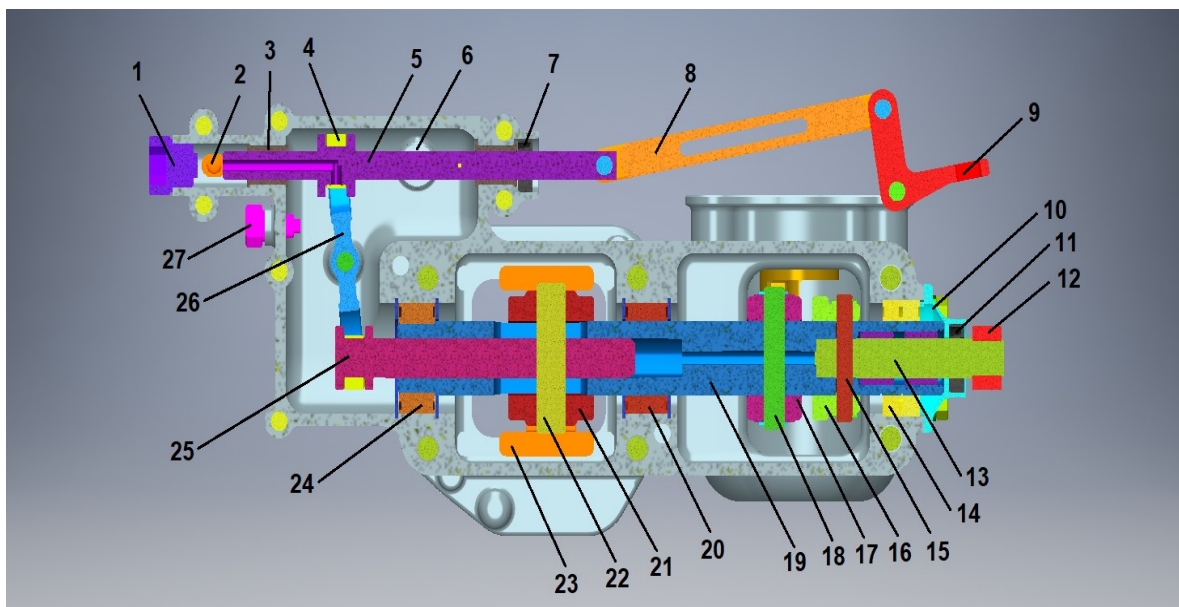
Zatěsnění těla řeším použitím lepidla Loctite 5203. Toto lepidlo je určeno právě na těsné plošné kovové spoje pro motory a převodovky.



Obr. 43 Vnitřní část těla [autor]



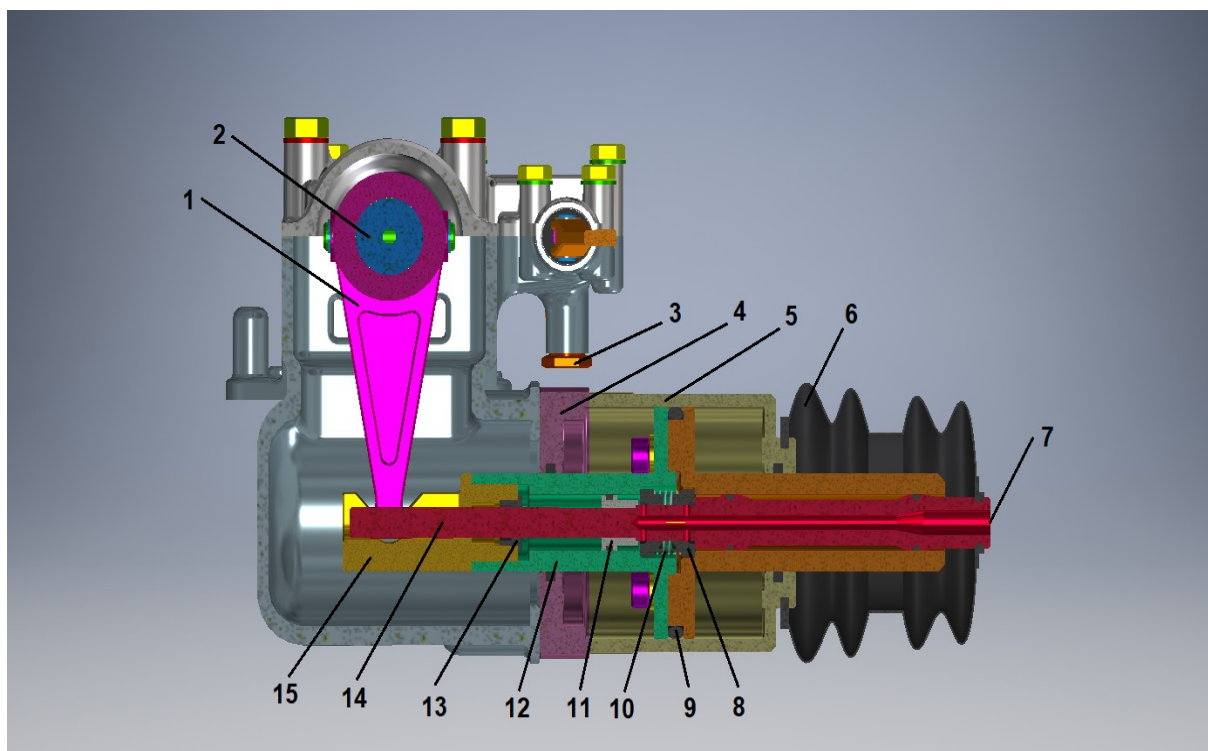
Obr. 44 Vnější část těla [autor]



Obr. 45 Řez pracovní části posilovače [autor]

Na obrázku lze vidět řez pracovní části posilovače. Jsou zde znázorněny důležité části.

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Magnetický šroub | 15. Čep vstupního palce |
| 2. Čidlo 6. a 7. převodového stupně | 16. Vstupní palec |
| 3. Ložisko volící hřídele | 17. Pomocný palec |
| 4. Řadící kameny | 18. Čep pomocného palce |
| 5. Volící hřídel | 19. Hřídel posilovače |
| 6. Aretační rolna | 20. Jehlové ložisko |
| 7. Těsnění | 21. Řadící palec |
| 8. Spojovací tyč | 22. Čep palce |
| 9. Páka volícího pohybu | 23. Mechanismus proti špatnému zařazení |
| 10. Boční víko | 24. Jehlové ložisko |
| 11. Těsnění | 25. Hřídel volícího pohybu palce |
| 12. Páka řadícího pohybu | 26. Přepákování volícího pohybu |
| 13. Vstupní hřídel | 27. Magnetický šroub |
| 14. Kuličkové ložisko | |



Obr. 46 Řez silové části posilovače [autor]

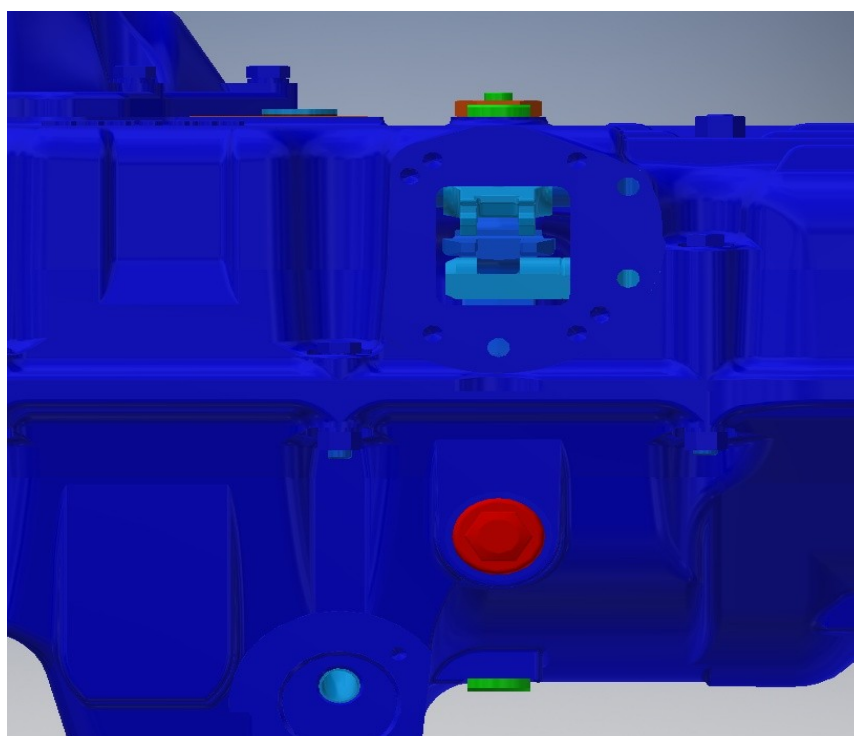
Na obrázku lze vidět řez posilovačem v místě pracovního válce. Níže je uveden seznam nejpodstatnějších částí posilovače.

1. Pomocný palec
2. Hřídel posilovače
3. Aretační rolna
4. Čelo válce
5. Pracovní válec
6. Manžeta
7. Odfuk přebytečného vzduchu
8. Těsnění mechanismu pístu
9. Hlavní těsnění pracovního válce
10. Pružina
11. Těsnicí element hřídele
12. Pracovní píst
13. Těsnění
14. Řídící tyč válce
15. Segment přenosu síly

4.1.7.1 Zástavbové rozměry

Nový posilovač díky podstatné přestavbě nezachovává původní zástavbové rozměry. Limitní je zástavbový rozměr mezi převodovým ústrojím a rámem vozidla. Zde je od samotné příruby k rámu vzdálenost 132 mm, přičemž z převodovky vystupuje z roviny příruby samotná skříň. Samozřejmostí je možnost montáže/demontáže posilovače řazení bez demontování převodového agregátu. Z tohoto důvodu je pracovní válec umístěn nad převodovou skříň, kde má dostatek prostoru.

Nesmí být opomenut také montážní prostor ke kontrolnímu šroubu převodové skříně znázorněný na obrázku červeně.



Obr. 47 Kontrolní šroub převodovky

4.1.7.2 Volba materiálu

Materiál pro odlitek obalu posilovače volím hliníkovou slitinu dle označení ČSN 42 4339 (AlSi8Cu2Mn). Materiál je vhodný pro velmi namáhané a složité automobilové součástky jako bloky motorů, bloky převodovek a dalších.

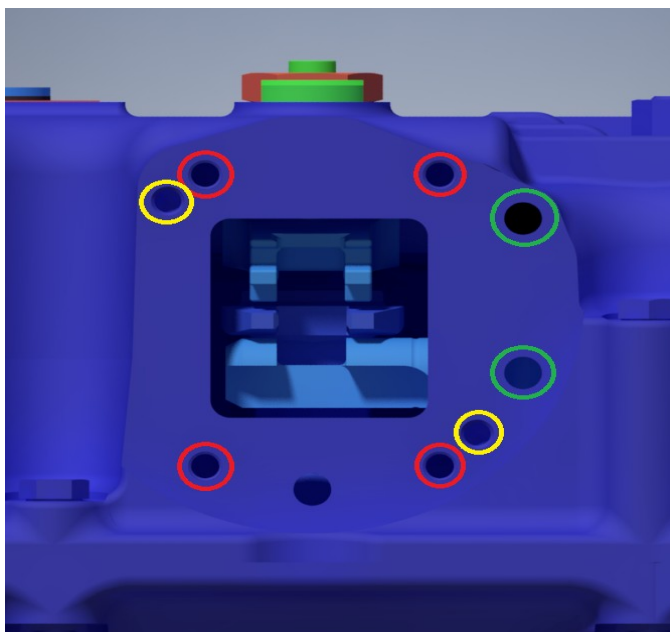
4.1.8 Víko posilovače

Z důvodu montáže všech součástí posilovače je tělo rozděleno na dvě části. Vrchní část, tedy víko posilovače, zastává funkce stejné jako samotné tělo, neboť také přenáší reakční síly vzniknuté při funkci posilovače.

Výroba dvoudílného obalu začíná vylitím připravených forem daným materiálem. Následně jsou vyvrtány potřebné díry se závity pro montáž dvou celků, díry pro přesné čepy, opracovány dosedací plochy víka i těla a tělo je následně zkompletováno. Dalším krokem je vyvrtání děr pro uložení ložisek hřídele posilovače a pomocné volící hřídele. Pro aretaci kluzných elementů je použito několik zápichů pro podložky, které je tedy nutné frézovat také. Další úpravy jako díry pro aretace, ostatní šrouby a obrobení vstupu pneumatického posilovače lze tvořit bez smontované součásti.

4.1.9 Příruba posilovače

Pro připojení posilovače k převodovce je nutné dodržet původní přírubu, tedy musí mít stejný tvar jako posilovač Tatra či Tatra-Norgren. Není možné jakkoliv upravovat úchytné body, tudíž musí být použity stávající čtyři šrouby (červené) a dva aretační kolíky (žluté). Zároveň musí být dodrženy díry pro vstup pružinky (zelené), která zajišťuje aretaci řadicích vidlic.

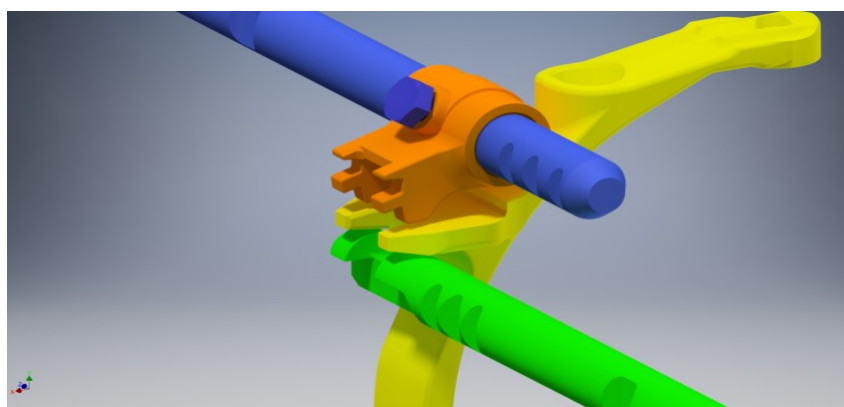


Obr. 48 Příruba na převodovce 14TS210 [autor]

4.1.10 Mechanismus proti špatnému zařazení

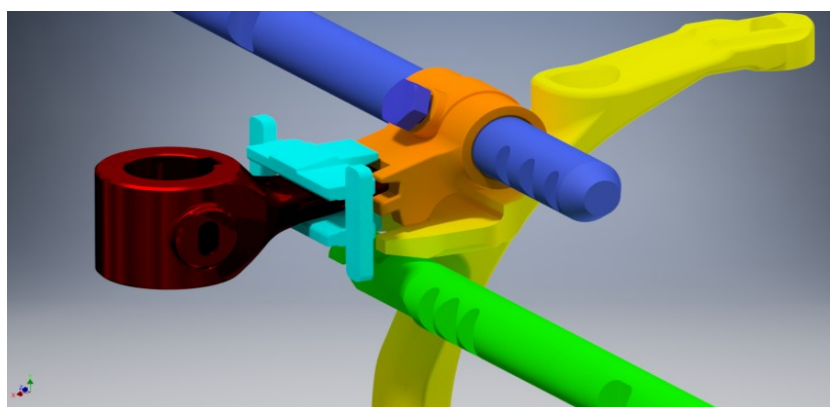
Mechanismus slouží k ochraně převodového ústrojí před pohybem dvou řadicích vidlic, čímž by došlo k zařazení dvou rychlostních stupňů. Takového zařazení by mohlo znamenat totální destrukci převodového ústrojí i celého hnacího traktu. Tento člen je úzce s řadicím palcem a vykonává posuvnou trajektorii při volbě rychlosti. Výčnělky na mechanismu blokují špatný pohyb tím, že se vsouvají do sousedících vidlic a tím znemožňují tento pohyb.

Na obrázku je znázorněn detail vstupu řadicích vidlic. Zelená hřídel je využívána pro pohyb vidlice zpátečky a 1. převodové rychlosti (Crowler). Žlutá řadicí vidlice řadí 2. a 3. převodový stupeň. Oranžový vstupní element je připojen na řadicí vidlici 4. a 5. převodového stupně. Je však přizpůsoben díky nové konstrukce vstupního elementu pro pohyb palce „dál“ za rovinu této vidlice, neboť naroste počet převodových stupňů výše zmíněný 6. a 7. rychlostní stupeň a tento pohyb bylo nutno umožnit.



Obr. 49 Detail vstupu vidlic [autor]

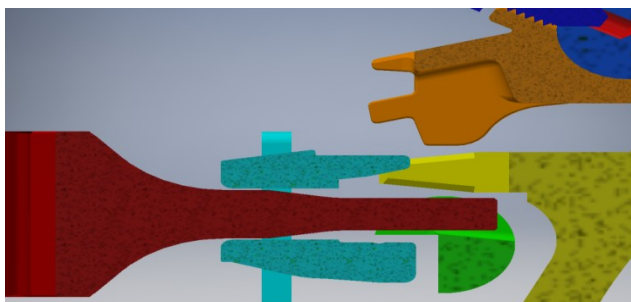
Zde je znázorněný vstup vidlic osazenými palcem i blokovacím členem. Momentálně se nachází v řadicí rovině 6. a 7. převodového stupně.



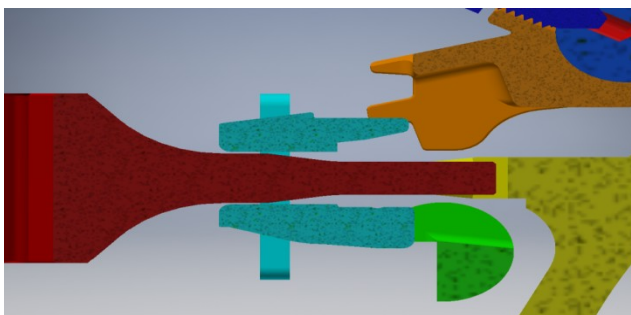
Obr. 50 Vidlice osazené palcem a blokovacím členem [autor]

4.1.10.1 Volící pohyb palce

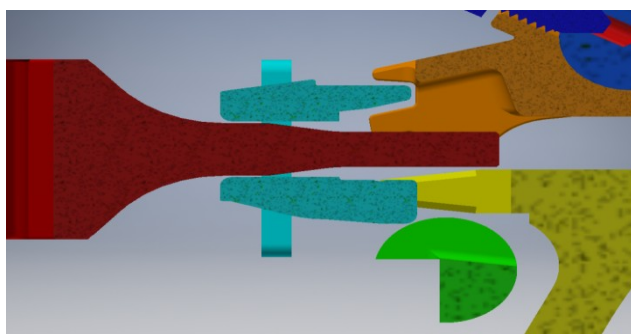
Volení roviny převodových rychlostí probíhá již zmíněným axiálním pohybem řadicího palce v převodovém ústrojí. Palec je navržen tak, aby jeho zaoblení přesně lícovalo s ploškami řadicích vidlic. Na následujících obrázcích jsou znázorněny jednotlivé polohy řadicích rovin.



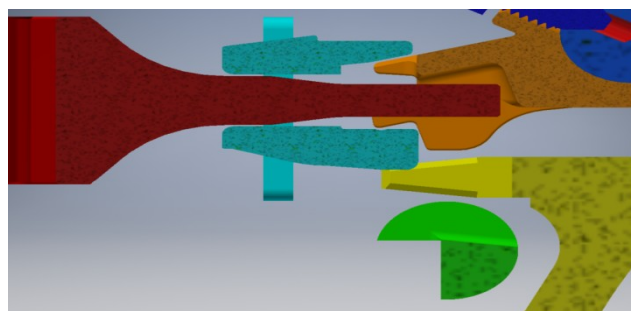
Obr. 51 Řazení zpátečky a 1. převodového stupně [autor]



Obr. 52 Řazení 2. a 3. převodového stupně [autor]



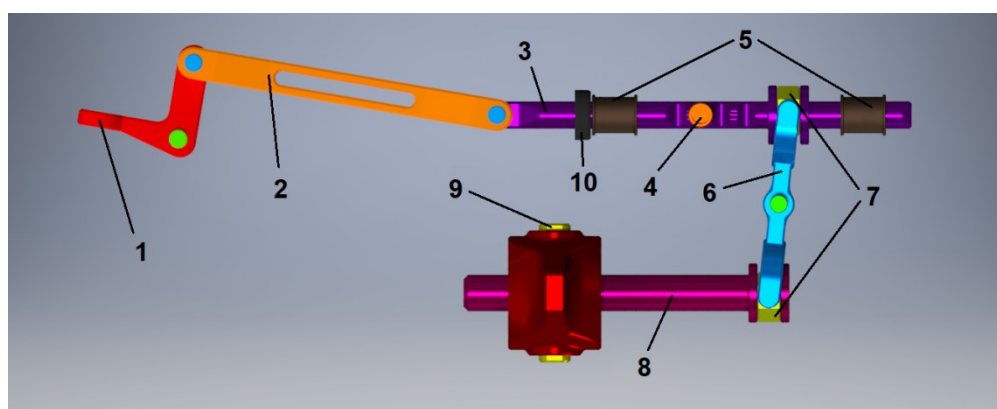
Obr. 53 Řazení 4. a 5. převodového stupně [autor]



Obr. 54 Řazení 6. a 7. převodového stupně [autor]

4.1.11 Vstupní hřídel volby

Vstupní hřídel volícího pohybu zajišťuje posuvný pohyb řadicího palce na hlavní hřídeli. Volící páka (č. 1) je napojená na bowden vedoucí z kabiny vozidla, kde je připojen na řadicí páku. Pomocí rozpěrky (č. 2) je rotační pohyb přenášén na posuvný pohyb pomocné volící hřídele (č. 3). Tato hřídel je prodloužená z důvodu axiálního vedení v pouzdře a je aretovaná rolnou s pružinou (č. 4). Axiální vedení ve dvou kluzných elementech (č. 5) zaručí bezpečný chod a budou zachytávat vzpěr na této hřídeli. Pomocnou pákou (č. 6), osazenou řadicími kameny (č. 7), je tento pohyb přenesen na sousedící hřídel (č. 8) vedoucí skrz hřídel posilovače k řadicímu palci, na který je čepem (č. 9) aretován. Hřídel je také vložena do gurefa (č. 10) a tím utěsněna.



Obr. 55 Mechanismus volícího pohybu [autor]

Pomocná hřídel plní výše zmíněnou funkci, tedy aretaci volícího pohybu. Pro aretaci jsem zvolil vyhloubení drážek do pomocné hřídele, do kterých bude vtláčovaná rolna osazená pružinou.

Aretované polohy pomocné volící hřídele jsou znázorněny na následující straně. Jak je vidět, čidlo je sepnuté pouze v poloze řazení 6. a 7. převodového stupně, což dodá zpětnou vazbu přídavné převodovce pro změnu převodového poměru. Lze si také povšimnout duté části hřídele s postranní dírou, které slouží jako ochrana proti stlačení oleje pod hřídelí a tím znemožnění pohybu. Pod hřídelí je druhý magnetický šroub, který slouží jako ochrana čidla před zanesením, vypouštěcí šroub při demontáži a také jako nutný prostor pro výrobu těla posilovače, neboť z druhé strany by byl nástrojem špatný přístup a cena výrobku by se rapidně navýšila.

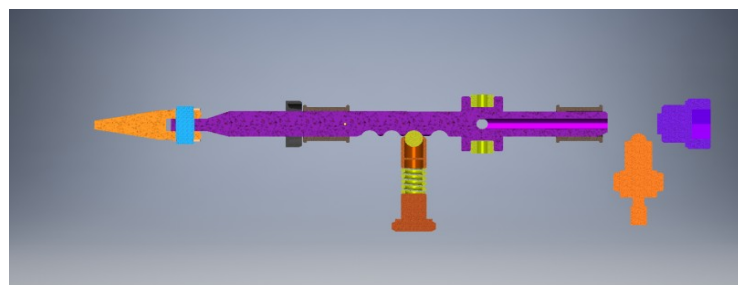
Vybrané čidlo je použité z převodové skříně osobního automobilu Škoda Felicia, kde plní funkci indikace zpětného chodu. Volil jsem toto čidlo, protože splňuje dané požadavky a cenově je velice dostupné.

Aretace roviny zpětného chodu a první převodové rychlosti:



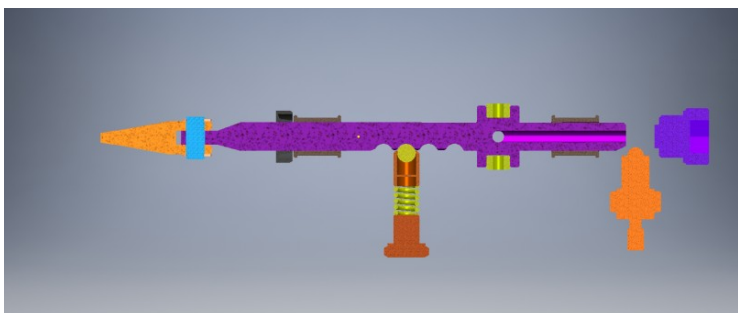
Obr. 56 Řazení zpětného chodu a 1. převodového stupně [autor]

Aretace roviny druhé a třetí převodové rychlosti:



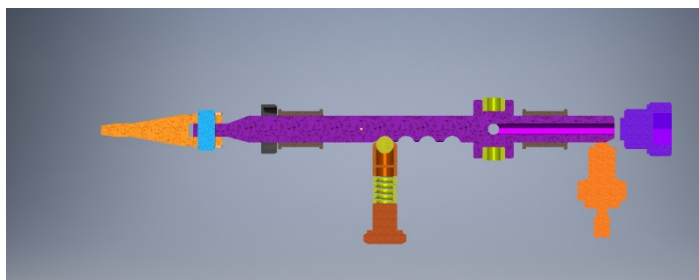
Obr. 57 Řazení 2. a 3. převodového stupně [autor]

Aretace roviny čtvrté a páté převodové rychlosti:



Obr. 58 Řazení 4. a 5. převodového stupně [autor]

Aretace roviny šesté a sedmé převodové rychlosti se sepnutým čidlem:



Obr. 59 Řazení 6. a 7. převodového stupně (sepnuté čidlo) [autor]

4.1.12 Volba ložisek a kluzných elementů

Uložení hlavní hřídele zajišťuje dvojice jehlových ložisek s masivními kroužky a k zajištění axiálního pohybu ložisko kuličkové. Tyto ložiska dostatečně odolávají danému zatížení. Ložiska jsou uložena v těle posilovače, kde jsou také aretována proti axiálnímu pohybu, neboť jehlová ložiska by mohla mít tendenci vysunout se z uložení.

Uložení pomocné hřídele je díky koncepci uloženo v bronzových pouzdrech. Pomalý axiální pohyb s částečným vzpěrným zatížením je dostatečně zajištěn. Samotná pouzdra jsou stále mazána, neboť tato část posilovače je zalitá převodovým olejem 75W-90, který se používá jako náplň převodové skříně.

U vstupní hřídele řadícího pohybu je uvnitř hlavní hřídele vsunuta dvojice kluzných ložisek odolávající silám vycházející z páky bowdenového kabelu.

Mechanické vlastnosti ložiska: SKF NA 49/28

Tab. 13 Mechanické vlastnosti ložiska SKF NA 49/28 [11]

C	25,1 kN
C₀	36,5 kN
P_u	4,4 kN

Mechanické vlastnosti ložiska: NKI 30/20 TN

Tab. 14 Mechanické vlastnosti ložiska NKI 30/20 TN [11]

C	27,5 kN
C₀	52 kN
P_u	6,55 kN

Mechanické vlastnosti ložiska: SKF 61906

Tab. 15 Mechanické vlastnosti ložiska SKF 61906 [11]

C	7,28 kN
C₀	4,55 kN
P_u	0,212 kN

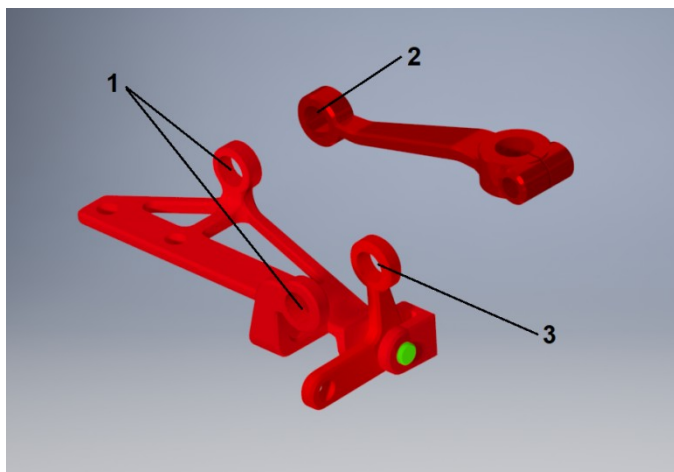
Mechanické vlastnosti ložiska SKF PSM 162216 A51

Tab. 16 Mechanické vlastnosti ložiska PSM 162216 A51 [11]

K	7,28 kN
K₀	4,55 kN

4.1.13 Vstupní páky řazení

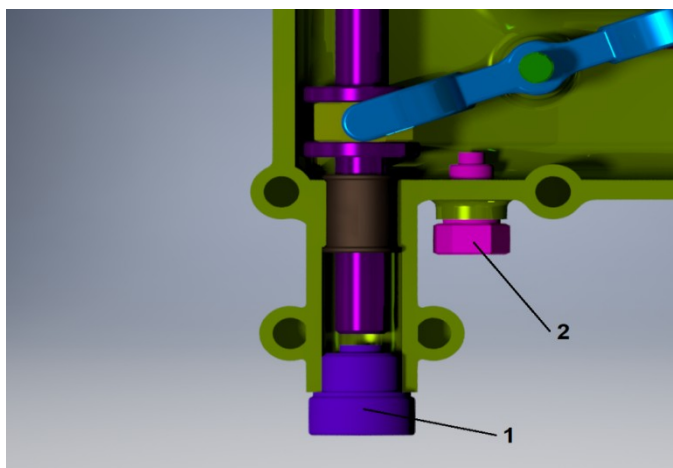
Jako vstupní prvek budou použity bowdenové kable. Jsou vhodné zejména svou poddaností a tím umožnění trasování, kde by to táhlem bylo velice obtížné. Nevýhodou však je malý rádius zahnutí, tedy není možné ovládat posilovač jakkoliv z boku, nebo zespod převodové skříně. Nejlepší variantou je přívod bowdenu horní částí převodovky. Bowden je uchycen v držáku (č. 1) a poté přiveden do řadící páky (č. 2), nebo volící páky (č. 3). Toto uchycení se později přizpůsobí na použitý typ koncovky kabelu.



Obr. 60 Uchycení bowdenů [autor]

4.1.14 Magnetický šroub

Magnetické šrouby jsou u posilovače použity dvojí. První (č. 1) zajišťuje ochranu snímače polohy pomocné hřídele a zachytává kovové části vniknuté dutou pomocnou hřídelí. Druhý magnetický šroub (č. 2) je umístěn v nejnižším místě spodní komory, kde zastává funkci výpustného šroubu posilovače a také chrání posilovač před kovovými nečistotami.



Obr. 61 Magnetické šrouby posilovače [autor]

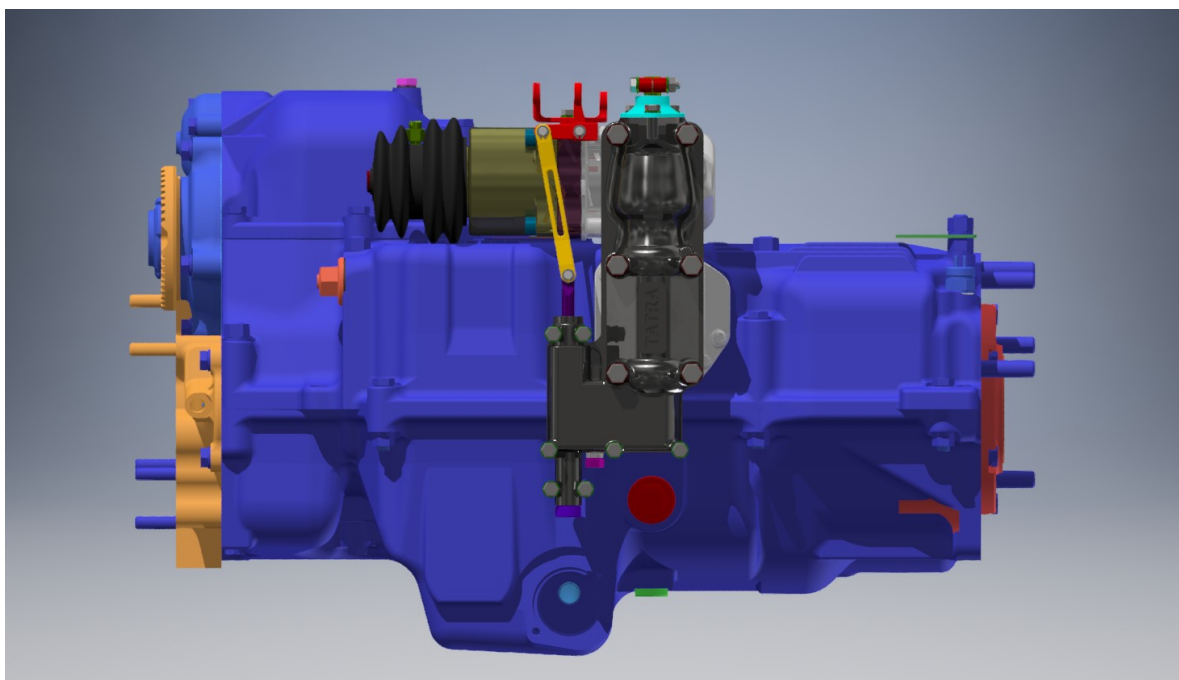
4.2 Kontrola kolizí posilovače řazení s převodovkou/rámem vozidla

Kontrola kolizí mezi převodovkou, rámem a posilovačem řazení je jedna z nejdůležitějších částí konstruování, neboť nedodržením zástavbového rozměru znamená znemožnění montáže a tím nesmyslnou výrobu posilovače.

Při zástavbě je nutno myslet také na připojení bowdenových kabelů, přívod elektrických vodičů k čidlu 6. a 7. převodové rychlosti a přívod stlačeného vzduchu.

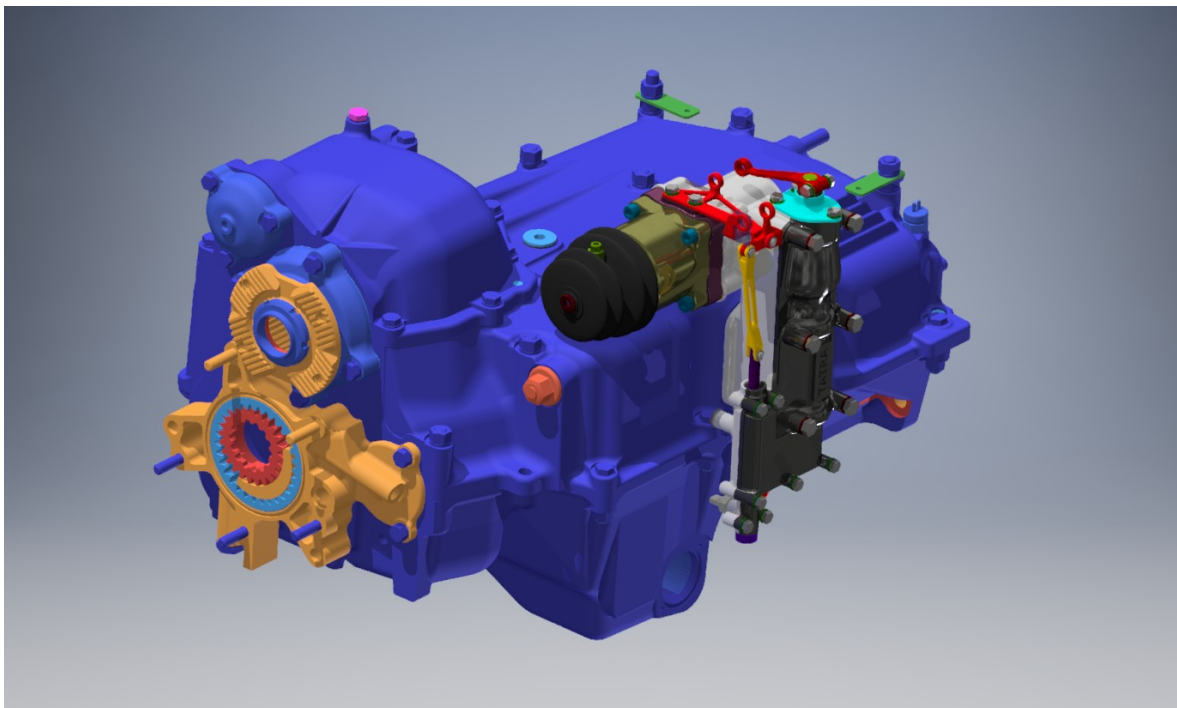
Kontrola kolizí proběhla v pořádku. Posilovač nemá s převodovkou jiný dotek, než dosedací plochy příruby s převodovkou a plošky palce se vstupem řadicích vidlic. Jsou také dodrženy montážní prostory důležitých částí převodovky. Mezera mezi posilovačem a rámem je dostatečně velká, aby při demontáži bylo možné šrouby povolít a posilovač vytáhnout směrem nahoru.

Celkový boční pohled:



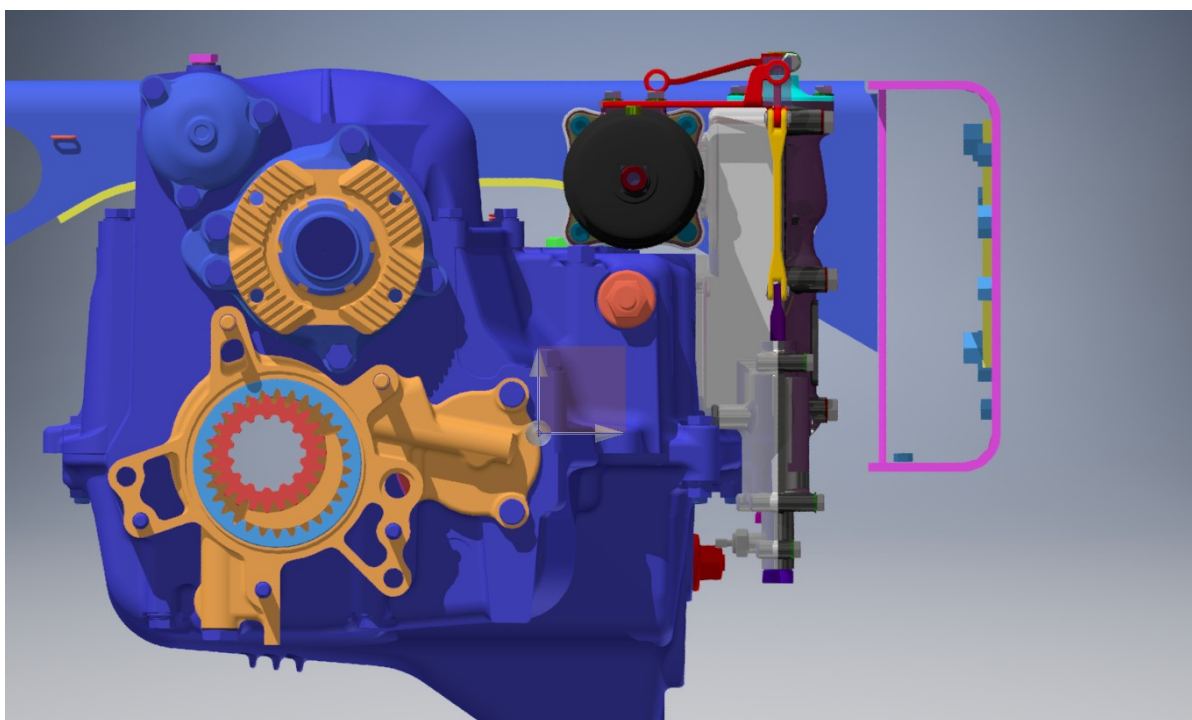
Obr. 62 Posilovač s převodovkou [autor]

Celkový pohled z perspektivy:



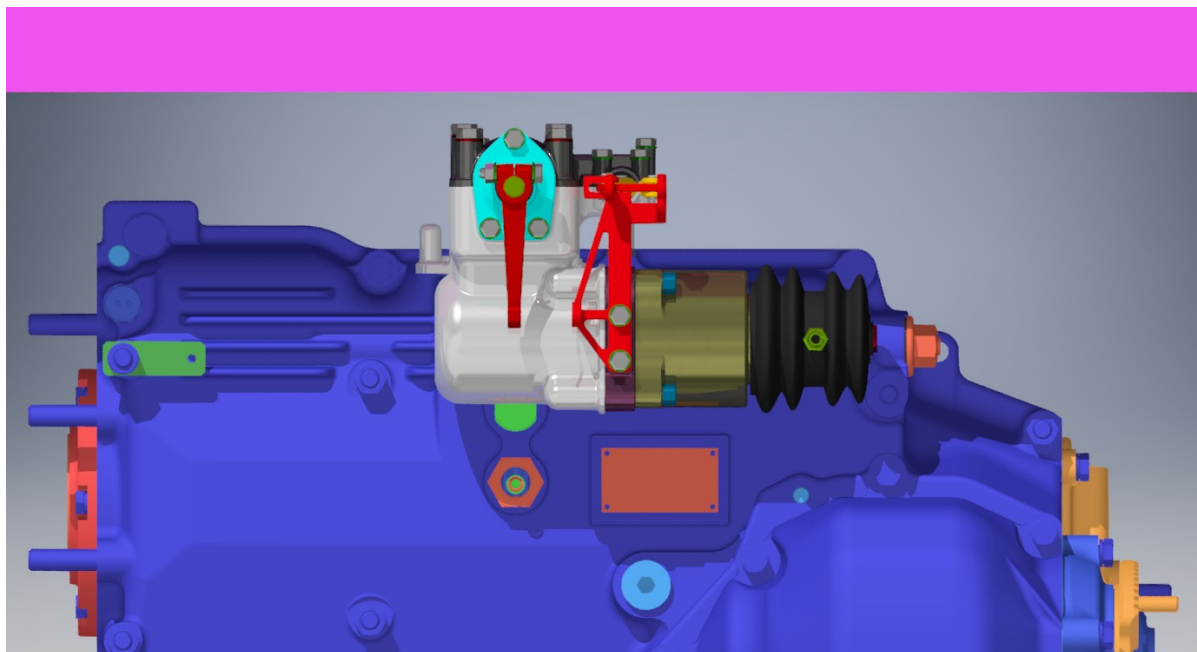
Obr. 63 Posilovač s převodovkou [autor]

Celkový pohled zepředu:



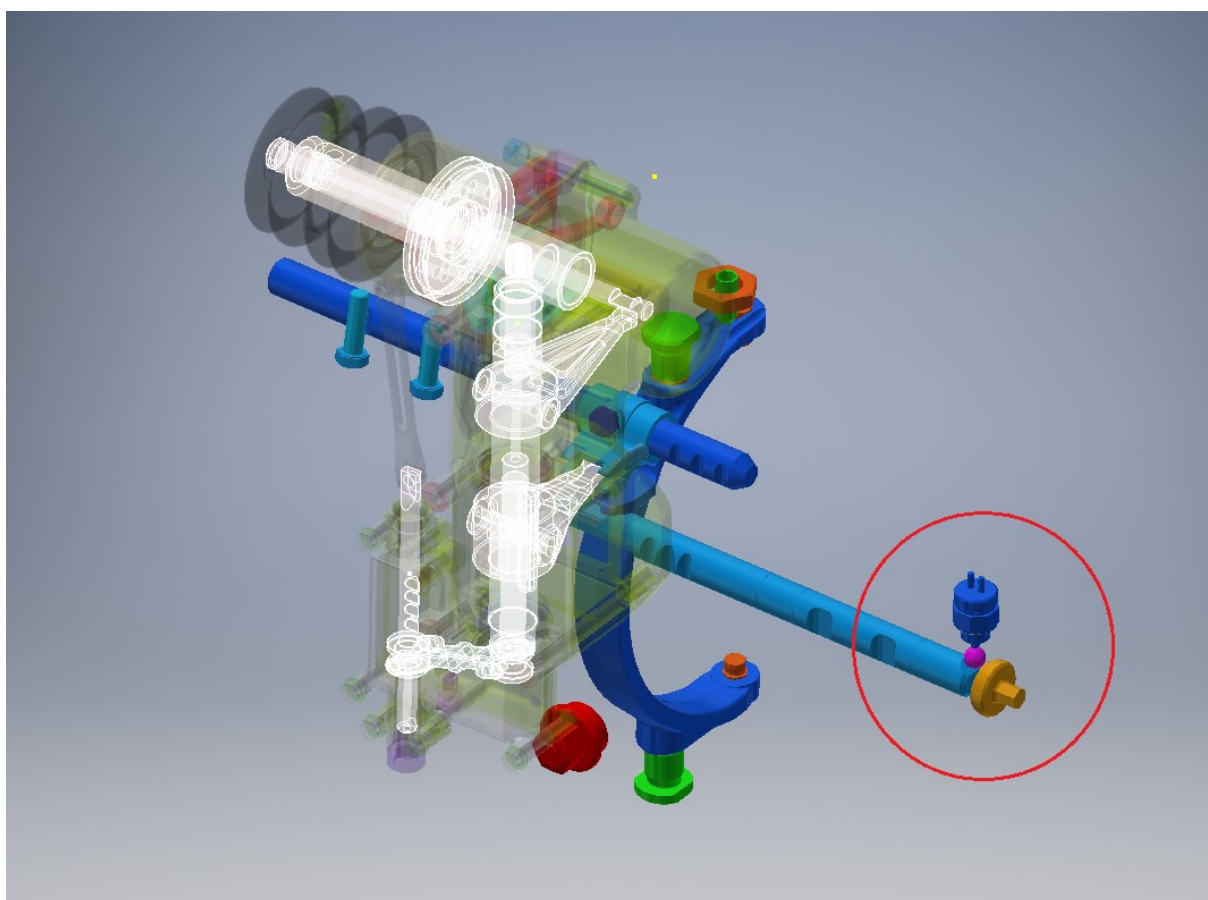
Obr. 64 Posilovač s převodovkou [autor]

Celkový pohled z vrchu:



Obr. 65 Posilovač s převodovkou [autor]

Celkový pohled do převodovky. Je zde také znázorněn snímač zařazení zpátečky.



Obr. 66 Čidlo zpátečky [autor]

4.3 Kalkulace ceny posilovače řazení

Výrobní cena posilovače řazení je obrovským faktorem pro uvedení výrobku do sériové výroby. Celková cena byla vypočtena dle přibližné ceny výroby a ceny nakoupených součástí. Nejdražší částí bude určitě tělo posilovače, neboť je nejsložitější a její obrábění bude náročnější. V případě zařazení do sériové výroby by jistě celková cena posilovače klesla vlivem snížení cen nakupovaných částí při vyšším odběru.

Tab. 17 Odhadovaná cena materiálu

Materiál	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Celková cena [Kč]
Tělo	3	400	1200
Píst	2	300	600
Palec	3	450	1350
Hřídel	4	500	2000
Ostatní	1	3000	3000

Tab. 18 Odhadovaná cena práce (obrábění, svařování)

Práce	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Celková cena [Kč]
Tělo	2	1500	3000
Píst	2	300	600
Válec	2	300	600
Ostatní	1	3000	3000

Tab. 19 Cena nakupovaných součástí

Součást	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Celková cena [Kč]
Ložiska valivá	6	250	1500
Ložiska kluzná	2	50	100
Čidlo	1	250	250
Lepidlo	1	100	100
Těsnění	6	25	150
Spojovací materiál	20	20	400

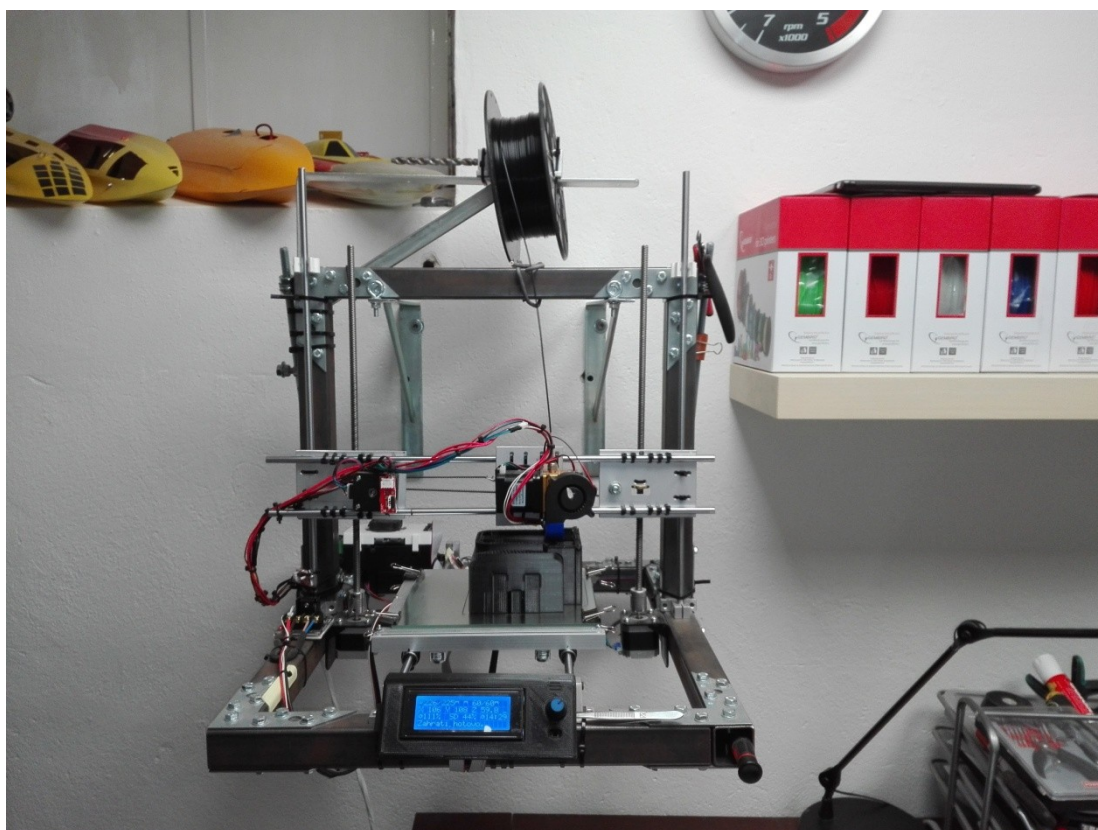
Celková předpokládaná cena: **17 850 Kč.**

4.4 Tisk posilovače pomocí FDM technologie

Kompletní model byl následně vytištěn na domácí 3D tiskárně, kterou jsem pro tento účel sestavil. Takovýto model je vhodný pro názornou ukázkou funkčnosti, zjištění, zda lze model smontovat a v neposlední řadě může sloužit jako školící materiál. Poněvadž je model v měřítku 1:1, lze jej přiložit k převodovce pro kontrolu možných kolizí a tím předejít zbytečně drahé výrobě prototypu z kovových materiálů.

Díky stavbě tiskárny jsem si také prohloubil znalosti v programování a konstrukci tohoto zařízení. Elektrické komponenty byly díky cenové dostupnosti nakoupeny v zahraničí a materiál pro stavbu rámu v přílehlém železářství. Díky svému návrhu a konstrukci od začátku jsem snížil výslednou cenu 3D tiskárny s dostatečnou kvalitou tisku na minimum.

Dle mého názoru je pro strojaře výhodou 3D tisku možnost vyrobení takřka čehokoliv, což při výrobě z kovových materiálů může v některých případech znamenat extrémní výrobní náklady, ne-li znemožnění výroby. Následující dny se chci zabývat litím kovových materiálů do forem vytištěných na této tiskárně.



Obr. 67 Prototyp domácí 3D tiskárny – tisk 1/3 těla posilovače [autor]

5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat nový návrh konstrukčního řešení posilovače řazení, který bude nadále používán pro nákladní vozidla společnosti Tatra Trucks a.s. a to zvláště pro manuální převodovku Tatra typu 14TS210. Tento posilovač řazení nahradí v současné době používaný posilovač, který již nevyhovuje dnešním potřebám.

V úvodu práce se zabývám stručným přehledem vozidel vyráběným automobilkou Tatra, jejich převodovkami, použitými posilovači řazení a některými převodovkami a posilovači používanými konkurenčními firmami. Z rešeršní části vyplývá nejvhodnější použití pneumatického posilovače, neboť jej využívá většina výrobců nákladních vozidel. Výhodou konkurenčních převodovek je o 30% až 40% nižší řadicí síla umožňující menší a lehčí konstrukci posilovače řazení.

Další část práce se zabývá shrnutím výhod a nevýhod posilovačů řazení využívané automobilkou Tatra. Zde je zřetelný důvod změny, neboť se objevuje spousta negativních reakcí uživatelů vozidel na špatnou aretaci volícího pohybu řadicí páky. Řidič tedy mnohokrát neví, v jaké řadicí rovině se páka nachází. Nutná aretace tohoto pohybu znamená kompletní změnu koncepce posilovače, neboť volící pohyb u původní konstrukce vykonává rotační pohyb hřídele posilovače, který je jen těžko zachytitelný.

Závěrečná část práce se zabývá samotným návrhem konstrukčního řešení nové koncepce posilovače. Samotný model byl nespočetně krát změněn, neboť při modelování nastávaly nové problémy. Neustále jsem musel nahlížet na výrobní cenu jednotlivých komponent posilovače, neboť by vysoké výrobní náklady znemožnily sériovou výrobu. Samozřejmostí bylo dodržení všech vstupních parametrů jako zástavbové rozměry, výstupní síla, přesné rozměry a stupně volnosti řadicího palce, vstupní ovládání a další. Nutností bylo umožnění kompletní funkčnosti modelu při zachování požadované pevnosti. Začátky probíhaly tužkou na papíře a vybral jsem jednu z několika variant, kterou jsem následně zpracoval v CAD softwaru Autodesk Inventor 2018.

Komplikované pevnostní výpočty určitých součástí jsem provedl v simulačním prostředí Siemens NX 9.0 metodou konečných prvků s výpočtním programem Nastran při statickém zatížení. Statické zatížení jsem použil z důvodů ulehčení výpočtu, neboť se nepředpokládá nechtěný posuv funkčních součástí. Výsledky potvrdily dostatečnou pevnost vybraných silově namáhaných součástí s dodržením zadaného koeficientu bezpečnosti.

Posilovač se skládá ze 142 součástí, z toho 34 bude vyráběno v prostorách firmy TATRA TRUCKS a.s., ostatní budou nakoupeny od externích dodavatelů. Vytvořený model je vytisknutý na 3D tiskárně v měřítku 1:1 z důvodů prezentace funkce výrobku a kontroly bezproblémové montáže do plánovaných míst zástavby. Diplomová práce, a k ní vytvořený model posilovače může být dále použita jako výukový materiál pro potřeby firmy TATRA a VŠB-TUO. Celková cena posilovače se bude pohybovat okolo 18 000,-, ovšem počítá se také s výrobou prototypu, u kterého by byla pořizovací cena několikanásobně vyšší. Nedílnou součástí této diplomové práce jsou také výkresy vybraných součástí.

Závěrem bych chtěl říci, že tato práce pro mne měla obrovský přínos, neboť jsem si prohloubil teoretické znalosti z oblasti konstrukce. Takováto změna koncepce bude mít přínos a je možné na ní stále pracovat, neboť plánovaný rok zavedení posilovače do sériové výroby je 2020.

Poděkování:

Na tomto místě bych velice rád poděkoval celé své rodině a přítelkyni za podporu při mém studiu. Dále bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Hrabci, Ph.D. za vstřícný přístup, věcné připomínky a pevné nervy při řešení této práce. Dále bych chtěl poděkovat mému nadřízenému Richardu Klosovi za umožnění tvorby této práce pro firmu Tatra Trucks a.s. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Janu Miketovi z firmy MIKETAKOVO s.r.o. za odbornou konzultaci při tvorbě této práce.

6. Seznam literatury

[1] VALA, M. et al. *Teorie a konstrukce bojových a speciálních vozidel: učebnice. Díl I., Konstrukce vozidel*. Vydání: první. Brno: Univerzita obrany, 2017. 308 stran. ISBN 978-80-7231-391-4.

[2] STODOLA, J. *Provoz, údržba a opravy vozidel I*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. 78 s. ISBN 978-80-7395-103-0.

[3] BRAUN, P. a Š. ČORŇÁK. *Provoz a údržba ANTS Tatra T-810 6x6*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2011. 104 s. ISBN 978-80-7231-782-0.

[4] Dílenská příručka nákladních automobilů T815, Tatra: kombinat, 1989.

[5] Školící manuál 14TS210N, Kopřivnice, 2011.

[6] Dílenská příručka T815-2, Kopřivnice, 1989.

[7] ZF Ecolite, Ecomid, Ecosplit. Jihlava , 2010.

[8] TATRA VÁS DOSTANE DÁL [online]. 2018 [cit. 1. května 2018]. Dostupný z WWW: <http://www.tatra.cz/>

[9] ZF Friedrichshafen AG [online]. 2018 [cit. 1. května 2018]. Dostupný z WWW: https://www.zf.com/corporate/en_de/products/products.html

[10] KODE [online]. 2018 [cit. 1. května 2018]. Dostupný z WWW: <http://www.kode.cz/cz/109/mainpage.htm>

[11] SKF [online]. 2018 [cit. 1. května 2018]. Dostupný z WWW: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/bushings/table-bushings/index.html>

[12] https://cs.wikipedia.org/wiki/Koncepce_Tatra#/media/File:ChassisTatra.jpg

[13] <https://forum.valka.cz/topic/view/21644/CZK-Tatra-111>

[14] <http://tatrdefenceindustrial.com/tatra-vehicles/tatra-for-firefighting/6x6-fire-fighting-superstructure-carrier-t815-2/>

[15] tatra.webz.cz/převodovka.htm

[16] https://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/predstavujeme/tatra-815-7-s-elektronickym-razenim_39648.html

[17] <https://www.atsjicin.cz/clanky/teren-automatizovana-prevodovka-tronic-proc-ne>

[18] www.zf.com/truck-transmission

[19] Seznam náhradních dílů Norgren. Kopřivnice.

[20] <https://www.cableprice.co.nz/Scania/Buses-and-Coaches/Safety-and-technology/Transmission-technology/scania-opticruise.aspx>

[21] <http://www.agroservishlucin.cz/produkty/agrotron-6/>

[22] Interní data Tatra Trucks a.s.

7. Seznam příloh

- [1] Výkres sestavení – SESTAVA (č. výkresu MAC0287-1-1)
- [2] Výrobní výkres – HRIDEL POSILOVACE (č. výkresu MAC0287-1-2)
- [3] Výrobní výkres – RIDICI HRIDEL (č. výkresu MAC0287-1-3)
- [4] Výrobní výkres – HRIDEL VOLBY (č. výkresu MAC0287-4)
- [5] Výrobní výkres – VALEC (č. výkresu MAC0287-1-5)
- [6] Výrobní výkres – PIST VENKOVNI (č. výkresu MAC0287-6)
- [7] Výrobní výkres – PIST VNITRNI (č. výkresu MAC0287-1-7)
- [8] Výrobní výkres – BOCNI VIKO (č. výkresu MAC0287-1-8)
- [9] Konstrukční kusovník – KUSOVNIK
- [10] 3D modely – na přiloženém datovém nosiči „3Dmodely.rar“